

14321.59  
10/715,146

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 1 月 1 9 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 3 5 2 5 7  
Application Number:

[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 2 - 3 3 5 2 5 7 ]

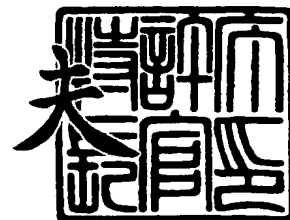
出      願      人                      日 本 電 信 電 話 株 式 会 社  
Applicant(s):



2 0 0 4 年    1 月 1 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 1 1 0 8 9 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH146022

【提出日】 平成14年11月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 亀井 新

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 井上 靖之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 田中 拓也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 橋本 俊和

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100066980

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 哲也

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001638

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波回路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路と、

前記光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第 1 損失要素と、

前記第 1 損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記光導波路を伝搬する光に対し、前記第 1 損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第 2 損失要素とを備えることを特徴とする光導波回路。

【請求項 2】 前記第 2 損失要素に入射する光波のビーム径を変換するビーム径変換部をさらに備えることを特徴とする請求項 1 記載の光導波回路。

【請求項 3】 第 1 の幅および第 1 の厚みを有する第 1 光導波路と、

第 2 の幅および第 2 の厚みを有する第 2 光導波路と、

前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との間に結合され、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みを前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みに変換するテーパ部と、

前記第 2 光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第 1 損失要素と、

前記第 1 損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記第 2 光導波路を伝搬する光に対し、前記第 1 損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第 2 損失要素とを備えることを特徴とする光導波回路。

【請求項 4】 前記第 1 の幅は前記第 2 の幅より小さいか、前記第 1 の厚みは前記第 2 の厚みより小さいか、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みの双方が前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みより小さいか、前記第 1 の幅は前記第 2 の幅より大きいか、前記第 1 の厚みは前記第 2 の厚みより大きいか、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みの双方が前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みより大きいことを特徴とする請求項 3 記載の光導波回路。

【請求項 5】 第 1 の幅および第 1 の厚みを有する第 1 光導波路と、

第 2 の幅および第 2 の厚みを有する第 2 光導波路と、

第 3 の幅および第 3 の厚みを有する第 3 光導波路と、

前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との間に結合され、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みを前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みに変換する第 1 テーパ部と

前記第2光導波路と前記第3光導波路との間に結合され、前記第2の幅および前記第2の厚みを前記第3の幅および前記第3の厚みに変換する第2テーパ部と

前記第2光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第1損失要素と、

前記第1損失要素の前段または後段の少なくとも一方に設けられ、前記第2光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする光導波回路。

【請求項6】 前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より小さいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より大きいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより大きいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより大きいことを特徴とする請求項5記載の光導波回路。

【請求項7】 前記光導波路は、石英系ガラスからなるクラッドおよびコアを備えることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項記載の光導波回路。

【請求項8】 前記第1損失要素は、前記光導波路からクラッドの一部およびコアの一部が除去された溝であることを特徴とする請求項7記載の光導波回路。

【請求項9】 前記溝は、所定間隔を置いて複数配列されていることを特徴とする請求項8記載の光導波回路。

【請求項10】 前記溝には、前記コアとは異なる材料が充填されていることを特徴とする請求項8または9記載の光導波回路。

【請求項11】 前記溝に充填された材料は、前記光導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有することを特徴とする請求項10記載の光導波回路。

【請求項12】 前記第2損失要素は、前記光導波路のコアの一部をクラッ

ドで置き換えることにより構成された導波路間隙であることを特徴とする請求項 7～11 のいずれか 1 項記載の光導波回路。

【請求項 13】 前記第 2 損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする請求項 7～11 のいずれか 1 項記載の光導波回路。

【請求項 14】 前記導波路間隙は、前記第 1 損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に所定間隔を置いて複数配列され、前記導波路間隙は、前記第 1 損失要素から遠ざかるに従って小さくなっていることを特徴とする請求項 12 記載の光導波回路。

【請求項 15】 前記光導波路は複数のアレイ導波路を備え、  
前記溝は前記アレイ導波路を横切って形成され、  
前記アレイ導波路の両端にそれぞれ接続されたスラブ導波路をさらに備えることを特徴とする請求項 8～13 のいずれか 1 項記載の光導波回路。

【請求項 16】 前記光導波路は長さの異なる 2 本のアーム導波路を備え、  
前記溝は少なくとも一方のアーム導波路を横切って形成され、  
前記アーム導波路の両端にそれぞれ接続された方向性結合器をさらに備えることを特徴とする請求項 8～13 のいずれか 1 項記載の光導波回路。

【請求項 17】 前記光導波路に設けられた光誘起グレーティングと、  
前記光導波路の端部に搭載された半導体レーザダイオードとを備え、  
前記溝は前記光誘起グレーティングと前記半導体レーザダイオードとの間の光導波路を横切って形成されていることを特徴とする請求項 8～13 のいずれか 1 項記載の光導波回路。

【請求項 18】 前記第 1 損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする請求項 7 記載の光導波回路。

【請求項 19】 前記第 2 損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする請求項 18 記載の光導波回路。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は光導波回路に関し、特に、光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさ

せる損失要素を有する光導波回路に適用して好適なものである。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

近年、シリコン基板上に形成された石英系ガラス導波路によって構成されたプレーナ光波回路（PLC）の研究開発が盛んに行われている。

このプレーナ光波回路では、例えば、非特許文献1に開示されているように、アレイ導波路回折格子（AWG）のような光波長合分波を実現する回路、あるいは、非特許文献2に開示されているように、熱光学（TO）スイッチのような光路切り替えを実現する回路などがある。また、プレーナ光波回路上に半導体光素子を搭載したハイブリッドプレーナ光波回路として、例えば、非特許文献3に開示されているように、外部共振器型周波数安定化レーザなどがある。

#### 【0003】

図17は、従来のアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図、図18は、図17のA7-A7線で切断した断面図である。

図17および図18において、シリコン基板201上には、石英系ガラスからなるクラッド層202が形成され、クラッド層202内には、石英系ガラスをコアとするアレイ導波路203が形成されている。

#### 【0004】

また、アレイ導波路203の両端には、スラブ導波路205a、205bがそれぞれ接続され、スラブ導波路205aの入力側には、入力導波路204aが接続され、スラブ導波路205bの出力側には、出力導波路204bが接続されている。

図19は、従来の熱光学スイッチの構成を示す平面図、図20は、図19のA8-A8線で切断した断面図である。

#### 【0005】

図19および図20において、シリコン基板211上には、石英系ガラスからなるクラッド層212が形成され、クラッド層212内には、石英系ガラスをコアとするアーム導波路213a、213bが形成されている。

また、各アーム導波路213a、213bの両端には、方向性結合器215、

216 がそれぞれ接続され、方向性結合器 215 の入力側には、入力導波路 214a、214b がそれぞれ接続され、方向性結合器 216 の出力側には、出力導波路 217a、217b がそれぞれ接続されている。

#### 【0006】

また、クラッド層 212 上には、アーム導波路 213a の位置に対応して、薄膜ヒータ 207 が形成され、薄膜ヒータ 207 は、配線 208a、208b に接続されている。

図 21 は、従来の外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図である。

#### 【0007】

図 21 において、シリコン基板 221 上には、石英系ガラスからなるクラッド層 222 が形成され、クラッド層 222 内には、石英系ガラスをコアとする光導波路 223 が形成されるとともに、光導波路 223 には光誘起グレーティング 224 が設けられている。

また、シリコン基板 221 上には、クラッド層 222 を除去することにより形成されたシリコンテラス 225 が設けられ、シリコンテラス 225 上には、半導体レーザ 226 が搭載されている。

#### 【0008】

上述したプレーナ光波回路などの光導波回路では、光導波路の一部を除去して溝を形成すること、あるいは、その溝に適当な特性を有する材料を充填することで、光導波回路の特性を改善したり、光導波回路の新しい機能を引き出したりすることができる。

また、上述したプレーナ光波回路などの光導波回路では、光導波路を交差させることにより、光導波回路のレイアウトの自由度を向上させることができ、複数の回路要素を同一基板上に集積化することを可能として、新たな機能を持たせることが可能となる。

#### 【0009】

光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する例としては、例えば、特許文献 1 に開示されているように、アレイ導波路



回折格子のクラッドおよびコアの一部を除去した溝を形成し、その溝に各光導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料を充填することによって、アレイ導波路回折格子の透過波長の温度依存性をなくす方法がある。

#### 【0010】

また、光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する別の例としては、例えば、特許文献2に開示されているように、熱光学スイッチのクラッドおよびコアの一部を除去した溝を形成し、その溝にアーム導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料を充填することによって、熱光学スイッチの消費電力を低減する方法がある。

#### 【0011】

また、光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する別の例としては、例えば、特許文献3に開示されているように、周波数安定化レーザの光誘起グレーティングと半導体レーザ間の光導波路のクラッドおよびコアの一部を除去した溝を形成し、その溝に半導体レーザの屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料を充填することによって、温度変化による周波数安定化レーザのモードホップを抑制する方法がある。

#### 【0012】

図22は、従来の温度補償化されたアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図、図23は、図22の光導波路を1本分について示す平面図、図24は、図22の光導波路を拡大して示す平面図、図25(a)は、図23のA9-A9線で切断した断面図、図25(b)は、図23のA10-A10線で切断した断面図である。

#### 【0013】

図22、図23および図25において、シリコン基板231上には、石英系ガラスからなるクラッド層232が形成され、クラッド層232内には、図25(a)に示すように、石英系ガラスをコアとするアレイ導波路236が形成され、

さらに、アレイ導波路 236 には、直線導波路 233 が付加されている。ここで、アレイ導波路 236 は、内側から外側に向かって、一定量  $\Delta L$  ずつ長くなるように構成されている。

#### 【0014】

また、直線導波路 233 には、直線導波路 233 を横切る溝 237 が設けられ、溝 237 は、直線導波路 233 からクラッド層 232 およびコアの一部を除去することにより形成することができる。このため、図 23 に示すように、直線導波路 233 の一本分の光導波路 241 に注目すると、光導波路 241 が、溝 242 により間隔  $W$  だけ空けて分断され、その隙間に温度補償材料 243 が充填された構造になっている。

#### 【0015】

また、各直線導波路 233 に設けられる溝 237 は、図 24 に示すように、アレイ導波路 236 の延長時の一定量  $\Delta L$  に比例した量  $\Delta L'$  ずつ長くなるように構成されている。

また、溝 237 には、図 25 (b) に示すように、アレイ導波路 236 の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料 238 が充填されている。特に、温度補償材料 238 としては、温度補償材料 238 の屈折率温度係数が  $dn'/dT$  がアレイ導波路 236 の実効屈折率温度係数  $dn/dT$  と異符号であり、温度補償材料 238 の屈折率温度係数の絶対値  $|dn'/dT|$  が、アレイ導波路 236 の実効屈折率温度係数の絶対値  $|dn/dT|$  と比較して十分大きいことが好ましく、このような温度補償材料 238 として、例えば、屈折率温度係数  $dn'/dT$  が  $-40 \times (dn/dT)$  程度のシリコン樹脂を挙げることができる。

#### 【0016】

また、アレイ導波路 236 の両端には、スラブ導波路 235a、235b がそれぞれ接続され、スラブ導波路 235a の入力側には、入力導波路 234a が接続され、スラブ導波路 235b の出力側には、出力導波路 234b が接続されている。

図 26 は、図 22 の光導波路のその他の例を示す平面図、図 27 は、図 26 の

光導波路を 1 本分について示す平面図である。

【0017】

図 26 および図 27 において、アレイ導波路 251 には、アレイ導波路 251 を横切る溝 252a ~ 252n ( $n$  は 2 以上の整数) が複数設けられ、これらの溝 253a ~ 253n には、温度補償材料 253a ~ 253n がそれぞれ充填されている。そして、アレイ導波路 251 の一本分の光導波路 261 に注目すると、図 27 に示すように、光導波路 261 が、幅  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $\dots$ 、 $w_n$  をそれぞれ有する  $n$  個の溝 262a ~ 262n により間隔  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $\dots$ 、 $d_{n-1}$  だけそれぞれ空けて分断され、その隙間に温度補償材料 263a ~ 263n がそれぞれ充填された構造になっている。

【0018】

そして、図 26 に示すように、一定量  $\Delta L$  ずつ長くなるアレイ導波路 251 の長さに応じて、各アレイ導波路 251 の溝 252a ~ 252n の長さも、一定量  $\Delta L$  に比例した量  $\Delta L' / n$  ずつそれぞれ長くなるように設定されている。

図 28 は、従来のポリマーアシステッド熱光学スイッチの構成を示す平面図、図 29 は、図 19 の A11-A11 線で切断した断面図である。

【0019】

図 28 および図 29 において、シリコン基板 271 上には、石英系ガラスからなるクラッド層 272 が形成され、クラッド層 272 内には、石英系ガラスをコアとするアーム導波路 273a、273b が形成されている。

また、クラッド層 272 上には、アーム導波路 273a、273b の間に配置されるようにして、薄膜ヒータ 274 が形成され、薄膜ヒータ 274 は、配線 275a、275b に接続されている。

【0020】

また、アーム導波路 273a には、クラッド層 272 およびコアの一部を除去することにより形成された溝 236 が設けられ、溝 236 内には、アーム導波路 273a の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料 277 が充填されている。なお、温度補償材料 277 としては、例えば、シリコン樹脂などを用いることができる。また、単一の溝 236 を用いる以外

にも、図 27 に示すように、複数の溝を用いることもできる。

#### 【0021】

図 30 は、従来のモードホップが抑制化された外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図、図 31 (a) は、図 30 の A12-A12 線で切断した断面図、図 31 (b) は、図 30 の A13-A13 線で切断した断面図である。

図 30 および図 31 において、シリコン基板 281 上には、石英系ガラスからなるクラッド層 282 が形成され、クラッド層 282 内には、石英系ガラスをコアとする光導波路 283 が形成されるとともに、光導波路 283 には光誘起グレーティング 284 が設けられている。

#### 【0022】

また、シリコン基板 281 上には、クラッド層 282 を除去することにより形成されたシリコンテラス 285 が設けられ、シリコンテラス 285 上には、半導体レーザ 286 が搭載されている。

また、光導波路 283 には、クラッド層 282 およびコアの一部を除去することにより形成された溝 287 が設けられ、溝 287 内には、光導波路 283 の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料 288 が充填されている。なお、温度補償材料 288 としては、例えば、シリコーン樹脂などを用いることができる。また、単一の溝 287 を用いる以外にも、図 27 に示すように、複数の溝を用いることもできる。

#### 【0023】

図 32 は、従来の交差型光導波路の構成を示す平面図である。

図 32 において、シリコン基板上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとする光導波路 291、292 が交差するように配置されている。ここで、光導波路 291、292 の交差角  $\alpha$  は、プレーナ光波回路全体のレイアウトに依存して設定することができる。

#### 【0024】

一方、プレーナ光波回路では、例えば、非特許文献 4 に開示されているように、光導波路の比屈折率差を大きくすることにより、光導波路の曲線部分の曲率半径を小さくして、小型化を図ることが行われている。

例えば、上述したアレイ導波路回折格子や熱光学スイッチなどのパッシブプレーナ光波回路でも、高屈折率差光導波路を用いることにより、小型化を図ることができる。

#### 【0025】

また、半導体レーザを搭載したハイブリッドプレーナ光波回路では、高屈折率差光導波路を用いることにより、半導体レーザと石英系ガラス導波路との間の結合損失を減らすことができる。

現在では、アレイ導波路回折格子の総合的な小型化・低価格化が求められており、高屈折率差光導波路を用いた小型化だけでなく、透過波長を温度無依存化する技術を適用した温度制御の削除が重要になっている。

#### 【0026】

また、熱光学スイッチの小型化・低消費電力化が求められており、上述したポリマーアシステッド熱光学スイッチに高屈折率差光導波路を適用することも重要である。

#### 【0027】

##### 【非特許文献1】

H. Takahashi et al., "Arrayed-Waveguide Grating for Wavelength Division Multi/Demultiplexer With Nanometer Resolution", Electron. Lett., vol. 26, no. 2, pp. 87-88, 1990.

##### 【非特許文献2】

M. Okuno et al., "8×8 Optical Matrix Switch Using Silica-Based Planer Lightwave Circuits", IEICE Trans. Electron., vol. 76-C, no. 7, pp. 1215-1223, 1993.

##### 【非特許文献3】

T. Tanaka et al., "Integrated Extra

Cavity laser Composed of Spot-Size  
Converted LD and UV Written Grating  
in Silica Waveguide on Si", Electron.  
Lett., vol. 32, no. 13, pp. 1202-1203, 1996

【非特許文献4】

S. Suzuki et al., High-Density Integrated Planar Lightwave Circuits Using  $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$  Waveguides with a High Refractive Index Difference, J. Lightwave Technol., vol. 12, no. 5, pp. 790-796, 1994.

【特許文献1】

国際公開特許WO98/36299号公報

【特許文献2】

特開2000-29079号公報

【特許文献3】

特開平11-97784号公報

【0028】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、プレーナ光波回路では、アレイ導波路回折格子の透過波長の温度依存性をなくしたり、熱光学スイッチの消費電力を低減したり、温度変化による周波数安定化レーザのモードホップを抑制したりするために、光導波路の一部を除去して溝を形成し、その溝に適当な特性を有する材料を充填する必要がある。

【0029】

このため、従来のプレーナ光波回路では、光導波路に形成された溝での放射損失が大きくなり、アレイ導波路回折格子および熱光学スイッチでは、プレーナ光波回路の損失特性の劣化が大きくなり、周波数安定化レーザでは、発振時のしき

い値電流が大きくなるという問題があった。

また、プレーナ光波回路では、回路レイアウトの自由度を向上させるとともに、複数の回路要素を同一基板上に集積して、新たな機能を持たせるために、光導波路を交差させることが行なわれている。

#### 【0030】

しかしながら、交差した光導波路をプレーナ光波回路に設けると、交差部において放射損失が発生し、プレーナ光波回路の損失特性の劣化が大きくなるという問題があった。

また、アレイ導波路回折格子や熱光学スイッチなどの小型化を図ったり、半導体素子との間の結合損失を減らしたりするために、高屈折率差光導波路を用いると、通常の比屈折率差光導波路を用いた場合に比べて、溝での放射損失が大きくなり、プレーナ光波回路の損失特性の劣化がさらに大きくなるという問題があった。

#### 【0031】

図33は、溝により除去された光導波路の長さと放射損失との関係を示す図である。

図33において、比屈折率差0.75%、コア幅×コア厚=6.0 $\mu$ m×6.0 $\mu$ mの光導波路の放射損失（実線）と、比屈折率差1.5%、コア幅×コア厚=4.5 $\mu$ m×4.5 $\mu$ mの光導波路の放射損失（点線）とを比較すると、比屈折率差1.5%、コア幅×コア厚=4.5 $\mu$ m×4.5 $\mu$ mの光導波路の方が、dB単位で2倍以上の過剰損失があることがわかる。

#### 【0032】

また、光導波路の交差を含む光導波回路に高屈折率差光導波路を適用した場合、光導波路の交差における過剰損失は、通常の比屈折率差光導波路に比べて大きくなり、プレーナ光波回路の損失特性の劣化がさらに大きくなるという問題があった。

例えば、同一構造の光導波路が交差角45°で一回だけ交差する場合の過剰損失は、比屈折率差0.75%、コア幅×コア厚=6.0 $\mu$ m×6.0 $\mu$ mの光導波路では、0.020dBであるのに対し、比屈折率差1.5%、コア幅×コア

厚 =  $4.5 \mu\text{m} \times 4.5 \mu\text{m}$  の光導波路では、 $0.035 \text{ dB}$  となる。

そこで、本発明の目的は、損失要素が設けられた光導波路の放射損失を低減することが可能な光導波回路を提供することである。

#### 【0033】

##### 【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決するために、請求項 1 記載の光導波回路によれば、光導波路と、前記光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第 1 損失要素と、前記第 1 損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記光導波路を伝搬する光に対し、前記第 1 損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第 2 損失要素とを備えることを特徴とする。

#### 【0034】

これにより、第 2 損失要素を用いることで、第 1 損失要素に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することができ、第 1 損失要素における光波の放射角（回折角）を小さくすることができる。

このため、第 1 損失要素における光波の放射損失を低減することができ、光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減させて、光導波回路の特性劣化を抑制することが可能となる。

#### 【0035】

また、請求項 2 記載の光導波回路によれば、前記第 2 損失要素に入射する光波のビーム径を変換するビーム径変換部をさらに備えることを特徴とする。

これにより、第 2 損失要素に入射する光波のビーム径を拡大することができ、第 2 損失要素における光波の放射角を小さくすることができる。

このため、第 1 損失要素における光波の放射損失を低減するために、第 1 損失要素の前段に第 2 損失要素を設けた場合において、第 2 損失要素における光波の放射損失を抑制しつつ、第 1 損失要素における光波の放射損失を低減することができ、光が光導波路を伝搬する際の過剰損失を低減することができる。

#### 【0036】

また、請求項 3 記載の光導波回路によれば、第 1 の幅および第 1 の厚みを有する第 1 光導波路と、第 2 の幅および第 2 の厚みを有する第 2 光導波路と、前記第



1 光導波路と前記第 2 光導波路との間に結合され、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みを前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みに変換するテーパ部と、前記第 2 光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第 1 損失要素と、前記第 1 損失要素前段または後段の少なくとも一方の側に設けられ、前記第 2 光導波路を伝搬する光に対し、前記第 1 損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第 2 損失要素とを備えることを特徴とする。

#### 【0037】

これにより、第 2 損失要素に入射する光波のビーム径を拡大することができ、第 2 損失要素による光波の放射損失分を抑制しつつ、第 1 損失要素における光波の放射損失を低減させることが可能となることから、光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減することができる。

また、請求項 4 記載の光導波回路によれば、前記第 1 の幅は前記第 2 の幅より小さいか、前記第 1 の厚みは前記第 2 の厚みより小さいか、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みの双方が前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みより小さいか、前記第 1 の幅は前記第 2 の幅より大きいか、前記第 1 の厚みは前記第 2 の厚みより大きいか、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みの双方が前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みより大きいことを特徴とする。

#### 【0038】

これにより、光導波路の幅または厚みを変更することで、光導波路を伝搬する光波のビーム径を変化させることができ、損失要素を光導波路に設けた場合においても、光が光導波路を伝搬する際の過剰損失を容易に低減することができる。

また、請求項 5 記載の光導波回路によれば、第 1 の幅および第 1 の厚みを有する第 1 光導波路と、第 2 の幅および第 2 の厚みを有する第 2 光導波路と、第 3 の幅および第 3 の厚みを有する第 3 光導波路と、前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との間に結合され、前記第 1 の幅および前記第 1 の厚みを前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みに変換する第 1 テーパ部と、前記第 2 光導波路と前記第 3 光導波路との間に結合され、前記第 2 の幅および前記第 2 の厚みを前記第 3 の幅および前記第 3 の厚みに変換する第 2 テーパ部と、前記第 2 光導波路を伝搬する光の放射損失を生じさせる第 1 損失要素と、前記第 1 損失要素の前段または後段の少

なくとも一方に設けられ、前記第2光導波路を伝搬する光に対し、前記第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素とを備えることを特徴とする。

#### 【0039】

これにより、第2損失要素の前または後ろで光波のビーム径を変換することが可能となり、光が損失要素を通過する際の過剰損失を低減しつつ、損失要素を含む光導波回路を様々のプレーナ光波回路に容易に組み込むことが可能となる。

また、請求項6記載の光導波回路によれば、前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より小さいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより小さいか、前記第1の幅および前記第3の幅は前記第2の幅より大きいか、前記第1の厚みおよび前記第3の厚みは前記第2の厚みより大きいか、前記第1の幅および前記第1の厚み並びに前記第3の幅および前記第3の厚みの双方が前記第2の幅および前記第2の厚みより大きいことを特徴とする。

#### 【0040】

これにより、光導波路の幅または厚みを変更することで、第2損失要素の前または後ろで光波のビーム径を変化させることができ、光が損失要素を通過する際の過剰損失を低減しつつ、損失要素を含む光導波回路を様々のプレーナ光波回路に容易に組み込むことが可能となる。

また、請求項7記載の光導波回路によれば、前記光導波路は、石英系ガラスからなるクラッドおよびコアを備えることを特徴とする。

#### 【0041】

これにより、シリコン基板上に光導波路を容易に形成することができ、様々のプレーナ光波回路を構成することが可能となる。

また、請求項8記載の光導波回路によれば、前記第1損失要素は、前記光導波路からクラッドの一部およびコアの一部が除去された溝であることを特徴とする。

#### 【0042】

これにより、光導波路の形状や大きさを変更することなく、光導波路に新しい機能を付加することが可能となる。

また、請求項 9 記載の光導波回路によれば、前記溝は、所定間隔を置いて複数配列されていることを特徴とする。

これにより、光導波路に複数の新しい機能を付加することが可能となる。

#### 【 0 0 4 3 】

また、請求項 1 0 記載の光導波回路によれば、前記溝には、前記コアとは異なる材料が充填されていることを特徴とする。

これにより、適当な特性を有する材料を溝内に充填することで、プレーナ光波回路の諸特性を改善することが可能となる。

また、請求項 1 1 記載の光導波回路によれば、前記溝に充填された材料は、前記光導波路の温度係数の実効屈折率と異なる符合の屈折率温度係数を有することを特徴とする。

#### 【 0 0 4 4 】

これにより、光導波路の温度係数の実効屈折率と異なる符合の屈折率温度係数を有する材料を溝内に充填することで、アレイ導波路回折格子の透過波長の温度依存性をなくしたり、熱光学スイッチの消費電力を低減したり、温度変化による周波数安定化レーザのモードホップを抑制したりすることができる。

また、請求項 1 2 記載の光導波回路によれば、前記第 2 損失要素は、前記光導波路のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成された導波路間隙であることを特徴とする。

#### 【 0 0 4 5 】

これにより、コアの一部を除去することで、光導波路に損失要素を形成することが可能となり、製造工程の複雑化を抑制しつつ、損失要素が設けられた光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減させることができる。

また、請求項 1 3 記載の光導波回路によれば、前記第 2 損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする。

#### 【 0 0 4 6 】

これにより、製造工程の複雑化を抑制しつつ、損失要素が設けられた光導波路

を光が伝搬する際の過剰損失を低減させることができる。

また、請求項 14 記載の光導波回路によれば、前記導波路間隙は、前記第 1 損失要素の前段または後段の少なくとも一方の側に所定間隔を置いて複数配列され、前記導波路間隙は、前記第 1 損失要素から遠ざかるに従って小さくなっていることを特徴とする。

【0047】

これにより、第 1 損失要素に入射する光波のビーム径を徐々に拡大することができ、導波路間隙における過剰損失を抑制しつつ、光が第 1 損失要素を通過する際の過剰損失を低減することができる。

また、請求項 15 記載の光導波回路によれば、前記光導波路は複数のアレイ導波路を備え、前記溝は前記アレイ導波路を横切って形成され、前記アレイ導波路の両端にそれぞれ接続されたスラブ導波路をさらに備えることを特徴とする。

【0048】

これにより、アレイ導波路回折格子の損失特性の劣化を抑制しつつ、透過波長の温度依存性をなくすことが可能となるとともに、高屈折率差光導波路の適用を可能として、アレイ導波路回折格子の小型化を図ることが可能となる。

また、請求項 16 記載の光導波回路によれば、前記光導波路は長さの異なる 2 本のアーム導波路を備え、前記溝は少なくとも一方のアーム導波路を横切って形成され、前記アーム導波路の両端にそれぞれ接続された方向性結合器をさらに備えることを特徴とする。

【0049】

これにより、熱光学スイッチの損失特性の劣化を抑制しつつ、消費電力を低減することが可能となるとともに、高屈折率差光導波路の適用を可能として、熱光学スイッチの小型化を図ることが可能となる。

また、請求項 17 記載の光導波回路によれば、前記光導波路に設けられた光誘起グレーティングと、前記光導波路の端部に搭載された半導体レーザダイオードとを備え、前記溝は前記光誘起グレーティングと前記半導体レーザダイオードとの間の光導波路を横切って形成されていることを特徴とする。

【0050】

これにより、周波数安定化レーザの発振時のしきい値電流の増大を抑制しつつ、温度変化によるモードホップを抑制することが可能となるとともに、高屈折率差光導波路の適用を可能として、半導体レーザと石英系ガラス導波路との間の結合損失を減らすことが可能となる。

また、請求項 18 記載の光導波回路によれば、前記第 1 損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする。

#### 【0051】

これにより、回路レイアウトの自由度を向上させることが可能となるとともに、複数の回路要素を同一基板上に集積することを可能として、新たな機能を持たせることが可能となる。

また、請求項 19 記載の光導波回路によれば、前記第 2 損失要素は、前記光導波路と他の光導波路との交差であることを特徴とする。

#### 【0052】

これにより、交差部での過剰損失を抑制しつつ、回路レイアウトの自由度を向上させることが可能となるとともに、複数の回路要素を同一基板上に集積することを可能として、新たな機能を持たせることが可能となる。

#### 【0053】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る光導波回路について図面を参照しながら説明する。

図 1 (a) は、本発明の第 1 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 1 (b) は、図 1 (a) の A1-A1 線で切断した断面図、図 2 (a) は、図 1 (a) の B1-B1 線で切断した断面図、図 2 (b) は、図 1 (a) の C1-C1 線で切断した断面図、図 1 (a) の D1-D1 線で切断した断面図である。なお、この第 1 実施形態は、第 1 損失要素として、溝 4 に充填された温度補償材料 5 を用いるとともに、第 2 損失要素として、溝 4 の前段に導波路間隙 6 を設けるようにしたものである。

#### 【0054】

図 1 および図 2 において、シリコン基板 1 上には、石英系ガラスからなるクラ

ッド層 2 が形成され、クラッド層 2 内には、図 2 (a) に示すように、石英系ガラスをコアとする光導波路 3 が形成されている。

また、光導波路 3 には、光導波路 3 を横切る幅  $W_{\text{groove1}}$  の溝 4 が設けられ、溝 4 は、図 2 (c) に示すように、光導波路 3 からクラッド層 2 およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0055】

また、溝 4 には、図 2 (c) に示すように、光導波路 3 の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料 5 が充填されている。特に、温度補償材料 5 としては、温度補償材料 5 の屈折率温度係数が  $dn'/dT$  が光導波路 3 の実効屈折率温度係数  $dn/dT$  と異符号であり、温度補償材料 5 の屈折率温度係数の絶対値  $|dn'/dT|$  が、光導波路 3 の実効屈折率温度係数の絶対値  $|dn/dT|$  と比較して十分大きいことが好ましく、このような温度補償材料 5 として、例えば、屈折率温度係数  $dn'/dT$  が  $-40 \times (dn/dT)$  程度のシリコン樹脂を挙げることができる。

#### 【0056】

また、光導波路 3 には、溝 4 の前段に間隔  $d_{\text{gap1}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap1}}$  の導波路間隙 6 が設けられ、導波路間隙 6 は、光導波路 3 のコアの一部をクラッド層 2 で置き換えることにより構成することができる。また、導波路間隙 6 の幅  $W_{\text{gap1}}$  は、導波路間隙 6 での放射損失が、温度補償材料 5 が充填された溝 4 での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝 4 と導波路間隙 6 の間隔  $d_{\text{gap1}}$  は、導波路間隙 6 を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 4 に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0057】

例えば、光導波路 3 の比屈折率差は 1.5%、コア幅×コア厚は  $4.5 \mu\text{m} \times 4.5 \mu\text{m}$ 、溝 4 の幅  $W_{\text{groove1}}$  は  $130 \mu\text{m}$ 、導波路間隙 6 の幅  $W_{\text{gap1}}$  は  $20 \mu\text{m}$ 、溝 4 と導波路間隙 6 との間の間隔  $d_{\text{gap1}}$  は  $20 \mu\text{m}$  とすることができる。

そして、光導波路 3 を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 6 を通過した後、温度補償材料 5 が充填された溝 4 を伝播し、再び光導波路 3 を伝播する。

## 【0058】

ここで、光導波路3を導波する光が溝4を通過すると、溝4で放射損失が発生する。そして、溝4を通過する際の光波の放射損失を減らすためには、溝4を通過する光波の放射角を小さくすることが必要となり、光波の放射角を小さくするためには、光波のビーム径を拡大することが有効である。

一方、導波路間隙6などの損失要素を伝播する光波は、導波路間隙6を通過した後、直ぐに完全に放射されるのではなく、しばらくは光導波路3の近傍を進行しながら、徐々に放射される。このため、導波路間隙6を通過した直後は、光導波路3を伝播する光波と、放射に転じる前に光導波路3の近傍に存在する光波とが合わさって、光導波路3を伝播する光波のビーム径が擬似的に拡大されたような状態を生み出すことができる。

## 【0059】

このため、溝4の前段に導波路間隙6を設けることにより、溝4に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することができ、損失要素が設けられた光導波路3を光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

例えば、図23の溝242が設けられた光導波路241の過剰損失が8.9 dBであるのに対し、図1の溝4および導波路間隙6が設けられた光導波路1の過剰損失の合計が7.7 dBとなり、図23の構成に比べて、過剰損失を1.2 dBだけ低減することができる。

## 【0060】

図3(a)は、本発明の第2実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図3(b)は、図3(a)のA2-A2線で切断した断面図である。なお、この第2実施形態は、第1損失要素として、溝14に充填された温度補償材料15を用いるとともに、第2損失要素として、溝14の前段および後段に導波路間隙16a、16bをそれぞれ設けるようにしたものである。

## 【0061】

図3において、シリコン基板11上には、石英系ガラスからなるクラッド層12が形成され、クラッド層12内には、石英系ガラスをコアとする光導波路13が形成されている。

また、光導波路 13 には、光導波路 13 を横切る幅  $W_{\text{groove2}}$  の溝 14 が設けられ、溝 14 は、光導波路 13 からクラッド層 12 およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0062】

また、溝 14 には、光導波路 13 の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料 15 が充填されている。

また、光導波路 13 には、溝 14 の前段に間隔  $d_{\text{gap11}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap11}}$  の導波路間隙 16 a が設けられるとともに、溝 14 の後段に間隔  $d_{\text{gap12}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap12}}$  の導波路間隙 16 b が設けられ、導波路間隙 16 a、16 b は、光導波路 13 のコアの一部をクラッド層 12 でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

#### 【0063】

また、導波路間隙 16 a、16 b の幅  $W_{\text{gap11}}$ 、 $W_{\text{gap12}}$  は、導波路間隙 16 a、16 b 全体での放射損失が、温度補償材料 15 が充填された溝 14 での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝 14 と導波路間隙 16 a の間隔  $d_{\text{gap11}}$  は、導波路間隙 16 a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 14 に到達できるような距離に設定することができ、溝 14 と導波路間隙 16 b の間隔  $d_{\text{gap12}}$  は、溝 14 を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 16 b に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0064】

例えば、光導波路 13 の比屈折率差は 1.5%、コア幅×コア厚は  $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、溝 14 の幅  $W_{\text{groove2}}$  は  $130\mu\text{m}$ 、導波路間隙 16 a の幅  $W_{\text{gap11}}$  は  $20\mu\text{m}$ 、溝 14 と導波路間隙 16 a との間の間隔  $d_{\text{gap11}}$  は  $20\mu\text{m}$ 、導波路間隙 16 b の幅  $W_{\text{gap12}}$  は  $20\mu\text{m}$ 、溝 14 と導波路間隙 16 b との間の間隔  $d_{\text{gap12}}$  は  $20\mu\text{m}$  とし、温度補償材料 15 として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0065】

そして、光導波路 13 を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 16 a を通過した後、温度補償材料 15 が充填された溝 14 を伝播し、さらに、導波



路間隙 16b を通過した後、再び光導波路 13 を伝播する。

このため、溝 14 の前段に導波路間隙 16a を設けることにより、溝 14 に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝 14 の後段に導波路間隙 16b を設けることにより、溝 14 から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路 13 を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

#### 【0066】

例えば、図 23 の溝 242 が設けられた光導波路 241 の過剰損失が 8.9 dB であるのに対し、図 3 の溝 14 および導波路間隙 16a、16b が設けられた光導波路 13 の過剰損失の合計が 6.5 dB となり、図 23 の構成に比べて、過剰損失を 2.4 dB だけ低減することができる。

図 4 (a) は、本発明の第 3 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 4 (b) は、図 4 (a) の A3-A3 線で切断した断面図である。なお、この第 3 実施形態は、第 1 損失要素として、溝 24 に充填された温度補償材料 25 を用いるとともに、第 2 損失要素として、溝 14 の前段および後段に複数の導波路間隙 26a~26c、26d~26f をそれぞれ設けるようにしたものである。

#### 【0067】

図 4 において、シリコン基板 21 上には、石英系ガラスからなるクラッド層 22 が形成され、クラッド層 22 内には、石英系ガラスをコアとする光導波路 23 が形成されている。

また、光導波路 23 には、光導波路 23 を横切る幅  $W_{\text{groove}3}$  の溝 24 が設けられ、溝 24 は、光導波路 23 からクラッド層 22 およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0068】

また、溝 24 には、光導波路 23 の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料 25 が充填されている。

また、光導波路 23 には、溝 24 の前段に間隔  $d_{\text{gap}21}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}21}$  の導波路間隙 26a が設けられ、導波路間隙 26a の前段に間隔  $d_{\text{gap}22}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}22}$  の導波路間隙 26b が設けられ、導波路間隙 26b の前段に間

隔  $d_{\text{gap}23}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}23}$  の導波路間隙 26 c が設けられるとともに、溝 14 の後段に間隔  $d_{\text{gap}24}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}24}$  の導波路間隙 26 d が設けられ、導波路間隙 26 d の後段に間隔  $d_{\text{gap}25}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}25}$  の導波路間隙 26 e が設けられ、導波路間隙 26 e の後段に間隔  $d_{\text{gap}26}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}26}$  の導波路間隙 26 f が設けられ、導波路間隙 26 a ~ 26 f は、光導波路 23 のコアの一部をクラッド層 22 でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

#### 【0069】

また、導波路間隙 26 a ~ 26 f の幅  $W_{\text{gap}21} \sim W_{\text{gap}26}$  は、導波路間隙 26 a ~ 26 f 全体での放射損失が、温度補償材料 25 が充填された溝 24 での放射損失より小さくなるように設定することができ、溝 24 から遠ざかるに従って、導波路間隙 26 a ~ 26 f の幅  $W_{\text{gap}21} \sim W_{\text{gap}26}$  を小さくすることが好ましい。

また、溝 24 と導波路間隙 26 a の間隔  $d_{\text{gap}21}$  は、導波路間隙 26 a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 24 に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26 a と導波路間隙 26 b の間隔  $d_{\text{gap}22}$  は、導波路間隙 26 b を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26 a に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26 b と導波路間隙 26 c の間隔  $d_{\text{gap}23}$  は、導波路間隙 26 c を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26 b に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0070】

また、溝 24 と導波路間隙 26 d の間隔  $d_{\text{gap}24}$  は、溝 24 を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26 d に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26 d と導波路間隙 26 e の間隔  $d_{\text{gap}25}$  は、導波路間隙 26 d を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26 e に到達できるような距離に設定することができ、導波路間隙 26 e と導波路間隙 26 f の間隔  $d_{\text{gap}26}$  は、導波路間隙 26 e を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 26 f に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0071】

例えば、光導波路 23 の比屈折率差は 1.5%、コア幅×コア厚は  $4.5 \mu\text{m}$

× 4.5  $\mu\text{m}$ 、溝 24 の幅  $W_{\text{groove}3}$  は 130  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 a の幅  $W_{\text{gap}21}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、溝 24 と導波路間隙 26 a との間の間隔  $d_{\text{gap}21}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 b の幅  $W_{\text{gap}22}$  は 10  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 a と導波路間隙 26 b の間の間隔  $d_{\text{gap}22}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 c の幅  $W_{\text{gap}23}$  は 5  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 b と導波路間隙 26 c の間の間隔  $d_{\text{gap}23}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 d の幅  $W_{\text{gap}24}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、溝 24 と導波路間隙 26 d との間の間隔  $d_{\text{gap}24}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 e の幅  $W_{\text{gap}25}$  は 10  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 d と導波路間隙 26 e の間の間隔  $d_{\text{gap}25}$  は 20  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 f の幅  $W_{\text{gap}26}$  は 5  $\mu\text{m}$ 、導波路間隙 26 e と導波路間隙 26 f の間の間隔  $d_{\text{gap}26}$  は 20  $\mu\text{m}$  とし、温度補償材料 25 として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0072】

そして、光導波路 23 を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 26 a ~ 26 c を通過した後、温度補償材料 25 が充填された溝 24 を伝播し、さらに、導波路間隙 26 d ~ 26 f を通過した後、再び光導波路 23 を伝播する。

このため、溝 14 の前段に複数の導波路間隙 26 a ~ 26 c を設けることにより、溝 24 に入射する光波のビーム径の拡大量を増加させることが可能となるとともに、溝 24 の後段に複数の導波路間隙 26 d ~ 26 f を設けることにより、溝 24 から出射する光波のビーム径の拡大量を増加させることが可能となり、損失要素が設けられた光導波路 23 を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

#### 【0073】

例えば、図 23 の溝 24 2 が設けられた光導波路 24 1 の過剰損失が 8.9 dB であるのに対し、図 3 の溝 24 および複数の導波路間隙 26 d ~ 26 f が設けられた光導波路 23 の過剰損失の合計が 5.6 dB となり、図 23 の構成に比べて、過剰損失を 3.6 dB だけ低減することができる。

図 5 (a) は、本発明の第 4 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 5 (b) は、図 5 (a) の A4-A4 線で切断した断面図、図 6 (a) は、図 5 (a) の B4-B4 線で切断した断面図、図 6 (b) は、図 5 (a) の C4-C4 線で切断した断面図である。なお、この第 4 実施形態は、第 1 損失要素として

、溝 34 に充填された温度補償材料 35 を用いるとともに、第 2 損失要素として、溝 34 の前段および後段に導波路間隙 36 a、36 b をそれぞれ設け、さらに、溝 34 および導波路間隙 36 a、36 b で分断される光導波路 33 の幅を拡大するようにしたものである。

#### 【0074】

図 5 および図 6 において、シリコン基板 31 上には、石英系ガラスからなるクラッド層 32 が形成され、クラッド層 32 内には、石英系ガラスをコアとする光導波路 33 が形成されている。ここで、光導波路 33 には、幅広部 33 c および幅狭部 33 a、33 e が設けられ、幅広部 33 c および幅狭部 33 a、33 e は、テーパ部 33 b、33 d をそれぞれ介して滑らかに接続されている。

#### 【0075】

また、光導波路 33 には、幅広部 33 c を横切る幅  $W_{\text{groove4}}$  の溝 34 が設けられ、溝 34 は、光導波路 33 からクラッド層 32 およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

また、溝 34 には、光導波路 33 の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料 35 が充填されている。

#### 【0076】

また、光導波路 33 の幅広部 33 c には、溝 34 の前段に間隔  $d_{\text{gap31}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap31}}$  の導波路間隙 36 a が設けられるとともに、溝 34 の後段に間隔  $d_{\text{gap32}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap32}}$  の導波路間隙 36 b が設けられ、これらの導波路間隙 36 a、36 b は、光導波路 33 のコアの一部をクラッド層 32 でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

#### 【0077】

また、導波路間隙 36 a、36 b の幅  $W_{\text{gap31}}$ 、 $W_{\text{gap32}}$  は、導波路間隙 36 a、36 b 全体での放射損失が、温度補償材料 35 が充填された溝 34 での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝 34 と導波路間隙 36 a の間隔  $d_{\text{gap31}}$  は、導波路間隙 36 a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 34 に到達できるような距離に設定することができ、溝 34 と導波路間隙 36 b の間隔  $d_{\text{gap32}}$  は、溝 34 を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路

間隙 36b に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0078】

例えば、光導波路 33 の比屈折率差は 1.5%、幅狭部 33a、33e のコア幅×コア厚は  $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、幅広部 33c のコア幅×コア厚は  $9.0\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、溝 34 の幅  $W_{\text{groove}4}$  は  $130\mu\text{m}$ 、導波路間隙 36a の幅  $W_{\text{gap}31}$  は  $20\mu\text{m}$ 、溝 34 と導波路間隙 36a との間の間隔  $d_{\text{gap}31}$  は  $20\mu\text{m}$ 、導波路間隙 36b の幅  $W_{\text{gap}32}$  は  $20\mu\text{m}$ 、溝 34 と導波路間隙 36b との間の間隔  $d_{\text{gap}32}$  は  $20\mu\text{m}$  とし、温度補償材料 35 として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0079】

そして、光導波路 33 を導波する光は、幅狭部 33a から幅広部 33c に入射する際にビーム径が拡大された後、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 36a を通過する。そして、温度補償材料 35 が充填された溝 34 を伝播し、さらに、導波路間隙 36b を通過した後、幅広部 33c から幅狭部 33e に入射する際にビーム径が縮小され、光導波路 33 を伝播する。

#### 【0080】

このため、溝 34 の前段に導波路間隙 36a を設けることにより、溝 34 に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝 34 の後段に導波路間隙 36b を設けることにより、溝 34 から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となることに加え、導波路間隙 36a、36b を通過する光波のビーム径を拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路 33 を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

#### 【0081】

例えば、図 23 の溝 242 が設けられた光導波路 241 の過剰損失が 8.9 dB であるのに対し、図 5 の溝 34 および導波路間隙 36a、36b に加え、幅広部 33c が設けられた光導波路 33 の過剰損失の合計が 5.0 dB となり、図 23 の構成に比べて、過剰損失を 3.9 dB だけ低減することができる。

図 7 (a) は、本発明の第 5 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 7 (b) は、図 7 (a) の A5-A5 線で切断した断面図である。なお、この第

5実施形態は、第1損失要素として、複数の溝44a～44dに充填された温度補償材料45a～45dを用いるとともに、第2損失要素として、溝44a～44dの前段および後段に導波路間隙46a、46bをそれぞれ設けるようにしたものである。

#### 【0082】

図7において、シリコン基板41上には、石英系ガラスからなるクラッド層42が形成され、クラッド層42内には、石英系ガラスをコアとする光導波路43が形成されている。

また、光導波路43には、光導波路43を横切る幅 $w_{\text{groove}41} \sim w_{\text{groove}44}$ の複数の溝44a～44dが、それぞれ間隔 $d_{\text{groove}41} \sim d_{\text{groove}43}$ だけ空けて形成され、これらの溝44a～44dは、光導波路43からクラッド層42およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0083】

また、これらの溝44a～44dには、光導波路43の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料45a～45dがそれぞれ充填されている。

また、光導波路43には、溝44aの前段に間隔 $d_{\text{gap}41}$ だけ空けて、幅 $W_{\text{gap}41}$ の導波路間隙46aが設けられるとともに、溝44dの後段に間隔 $d_{\text{gap}42}$ だけ空けて、幅 $W_{\text{gap}42}$ の導波路間隙46bが設けられ、導波路間隙46a、46bは、光導波路43のコアの一部をクラッド層42でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

#### 【0084】

また、導波路間隙46a、46bの幅 $W_{\text{gap}41}$ 、 $W_{\text{gap}42}$ は、導波路間隙46a、46b全体での放射損失が、温度補償材料45a～45dが充填された溝44a～44d全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝44aと導波路間隙46aの間隔 $d_{\text{gap}41}$ は、導波路間隙46aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝44aに到達できるような距離に設定することができ、溝44dと導波路間隙46bの間隔 $d_{\text{gap}42}$ は、溝44dを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙46bに到達できるような距離に設定す

ることができる。

#### 【0085】

例えば、光導波路 43 の比屈折率差は 1.5%、コア幅×コア厚は  $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、溝 44a～44d の幅  $W_{\text{groove}41} \sim W_{\text{groove}44}$  はそれぞれ  $40\mu\text{m}$ 、溝 44a～44d の間の間隔  $d_{\text{groove}41} \sim d_{\text{groove}43}$  はそれぞれ  $20\mu\text{m}$ 、導波路間隙 46a の幅  $W_{\text{gap}41}$  は  $20\mu\text{m}$ 、溝 44a と導波路間隙 46a との間隔  $d_{\text{gap}41}$  は  $20\mu\text{m}$ 、導波路間隙 46b の幅  $W_{\text{gap}42}$  は  $20\mu\text{m}$ 、溝 44d と導波路間隙 46b との間隔  $d_{\text{gap}42}$  は  $20\mu\text{m}$  とし、温度補償材料 45a～45d として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0086】

そして、光導波路 43 を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 46a を通過した後、温度補償材料 45a～45d が充填された溝 44a～44d を伝播し、さらに、導波路間隙 46b を通過した後、再び光導波路 43 を伝播する。

このため、溝 44a～44d に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝 44a～44d から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路 43 を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

#### 【0087】

例えば、図 27 の溝 262a～262n が設けられた光導波路 261 の過剰損失が 4.6dB であるのに対し、図 7 の溝 44a～44d および導波路間隙 46a、46b が設けられた光導波路 43 の過剰損失の合計が 3.4dB となり、図 27 の構成に比べて、過剰損失を 1.2dB だけ低減することができる。

図 8 (a) は、本発明の第 6 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 8 (b) は、図 8 (a) の A6-A6 線で切断した断面図である。なお、この第 6 実施形態は、第 1 損失要素として、複数の溝 54a～54d に充填された温度補償材料 55a～55d を用いるとともに、第 2 損失要素として、溝 54a～54d の前段および後段に導波路間隙 56a、56b をそれぞれ設け、さらに、溝 54a～54d および導波路間隙 56a、56b で分断される光導波路 53 の幅

を拡大するようにしたものである。

#### 【0088】

図8において、シリコン基板51上には、石英系ガラスからなるクラッド層52が形成され、クラッド層52内には、石英系ガラスをコアとする光導波路53が形成されている。ここで、光導波路53には、幅広部53cおよび幅狭部53a、53eが設けられ、幅広部53cおよび幅狭部53a、53eは、テーパ部53b、53dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。

#### 【0089】

また、光導波路53には、幅広部53cを横切る幅 $w_{\text{groove}51} \sim w_{\text{groove}54}$ の複数の溝54a～54dが、それぞれ間隔 $d_{\text{groove}51} \sim d_{\text{groove}53}$ だけ空けて形成され、これらの溝54a～54dは、光導波路53からクラッド層52およびコアの一部を除去することにより形成することができる。

また、これらの溝54a～54dには、光導波路53の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料55a～55dがそれぞれ充填されている。

#### 【0090】

また、光導波路53の幅広部53cには、溝54aの前段に間隔 $d_{\text{gap}51}$ だけ空けて、幅 $W_{\text{gap}51}$ の導波路間隙56aが設けられるとともに、溝54dの後段に間隔 $d_{\text{gap}52}$ だけ空けて、幅 $W_{\text{gap}52}$ の導波路間隙56bが設けられ、導波路間隙56a、56bは、光導波路53のコアの一部をクラッド層52でそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

#### 【0091】

また、導波路間隙56a、56bの幅 $W_{\text{gap}51}$ 、 $W_{\text{gap}52}$ は、導波路間隙56a、56b全体での放射損失が、温度補償材料55a～55dが充填された溝54a～54d全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝54aと導波路間隙56aの間隔 $d_{\text{gap}51}$ は、導波路間隙56aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝54aに到達できるような距離に設定することができ、溝54dと導波路間隙56bの間隔 $d_{\text{gap}52}$ は、溝54dを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙56bに到達できるような距離に設定す



ることができる。

#### 【0092】

例えば、光導波路 5 3 の比屈折率差は 1. 5 %、幅狭部 5 3 a、5 3 e のコア幅×コア厚は  $4.5\ \mu\text{m} \times 4.5\ \mu\text{m}$ 、幅広部 5 3 c のコア幅×コア厚は  $9.0\ \mu\text{m} \times 4.5\ \mu\text{m}$ 、溝 5 4 a ~ 5 4 d の幅  $W_{\text{groove}51} \sim W_{\text{groove}54}$  はそれぞれ  $25\ \mu\text{m}$ 、溝 5 4 a ~ 5 4 d の間の間隔  $d_{\text{groove}51} \sim d_{\text{groove}53}$  はそれぞれ  $20\ \mu\text{m}$ 、導波路間隙 5 6 a の幅  $W_{\text{gap}51}$  は  $15\ \mu\text{m}$ 、溝 5 4 a と導波路間隙 5 6 a との間の間隔  $d_{\text{gap}51}$  は  $15\ \mu\text{m}$ 、導波路間隙 5 6 b の幅  $W_{\text{gap}52}$  は  $15\ \mu\text{m}$ 、溝 5 4 d と導波路間隙 5 6 b との間の間隔  $d_{\text{gap}52}$  は  $15\ \mu\text{m}$  とし、温度補償材料 5 5 a ~ 5 5 d として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0093】

そして、光導波路 5 3 を導波する光は、幅狭部 5 3 a から幅広部 5 3 c に入射する際にビーム径が拡大された後、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 5 6 a を通過する。そして、温度補償材料 5 5 a ~ 5 5 d が充填された溝 5 4 a ~ 5 4 d を伝播し、さらに、導波路間隙 5 6 b を通過した後、幅広部 5 3 c から幅狭部 5 3 e に入射する際にビーム径が縮小され、光導波路 5 3 を伝播する。

#### 【0094】

このため、溝 5 4 a ~ 5 4 d に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝 5 4 a ~ 5 4 d から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となることに加え、導波路間隙 5 6 a、5 6 b を通過する光波のビーム径を拡大することが可能となり、損失要素が設けられた光導波路 5 3 を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

#### 【0095】

例えば、図 2 7 の溝 2 6 2 a ~ 2 6 2 n が設けられた光導波路 2 6 1 の過剰損失が 4. 6 dB であるのに対し、図 8 の溝 5 4 a ~ 5 4 d および導波路間隙 5 6 a、5 6 b に加え、幅広部 5 3 c が設けられた光導波路 5 3 の過剰損失の合計が 2. 1 dB となり、図 2 7 の構成に比べて、過剰損失を 2. 5 dB だけ低減することができる。

#### 【0096】

図9は、本発明の第7実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。なお、この第7実施形態は、第1損失要素として、溝70に充填された温度補償材料が設けられるとともに、第2損失要素として、溝70の前段および後段に導波路間隙71a、71bがそれぞれ設けられた特性補償領域69を、アレイ光導波路回折格子に組み込むようにしたものである。

#### 【0097】

図9において、シリコン基板61上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとするアレイ導波路64が形成されている。ここで、アレイ導波路64は、内側から外側に向かって、一定量 $\Delta L$ ずつ長くなるように構成することができる。

また、アレイ導波路64には、透過波長を温度無依存化する特性補償領域69が設けられ、特性補償領域69には、アレイ導波路64を横切る溝70が設けられ、溝70は、アレイ導波路64からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。ここで、アレイ導波路64に設けられる溝70は、アレイ導波路64の延長時の一定量 $\Delta L$ に比例した量 $\Delta L'$ ずつ長くなるように構成することができる。

#### 【0098】

また、溝70には、アレイ導波路64の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料が充填されている。

また、特性補償領域69には、溝70の前段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙71aが設けられるとともに、溝70の後段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙71bが設けられ、これらの導波路間隙71a、71bは、アレイ導波路64のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

#### 【0099】

また、アレイ導波路64の両端には、スラブ導波路63a、63bがそれぞれ接続され、スラブ導波路63aの入力側には、入力導波路62aが接続され、スラブ導波路63bの出力側には、出力導波路62bが接続されている。

さらに、入力導波路62aは、光ファイバコネクタ66aを介して光ファイバ65aに接続されるとともに、光ファイバ65aは、光ファイバ接続部品67a

に接続され、出力導波路 62b は、光ファイバコネクタ 66b を介して光ファイバ 65b に接続されるとともに、光ファイバ 65b は、光ファイバ接続部品 67b に接続され、これらの部品は回路ケース 68 に収容されている。

#### 【0100】

そして、アレイ導波路 64 を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 71a を通過した後、温度補償材料が充填された溝 70 を伝播し、さらに、導波路間隙 71b を通過した後、再びアレイ導波路 64 を伝播する。

このため、溝 70 に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝 70 から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、アレイ光導波路回折格子の透過波長の温度無依存化を図りつつ、アレイ導波路 64 を光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

#### 【0101】

図 10 は、本発明の第 8 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。なお、この第 8 実施形態は、第 1 損失要素として、複数の溝 82a ~ 82n に充填された温度補償材料 83a ~ 83n が設けられるとともに、第 2 損失要素として、溝 82a ~ 82n の前段および後段に導波路間隙 84a、84b がそれぞれ設けられた特性補償領域を、アレイ光導波路回折格子に組み込むようにしたものである。

#### 【0102】

図 10 において、アレイ導波路 81 には、アレイ導波路 81 を横切る複数の溝 82a ~ 82n が、それぞれ間隔  $d_{\text{groove6}}$  だけ空けて形成され、これらの溝 82a ~ 82n は、アレイ導波路 81 からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

ここで、アレイ導波路 81 を横切る各溝 82a ~ 82n の幅は、 $W1 \sim W1 + W_{\text{min1}}$  でそれぞれ単調に増加するように構成されている。また、一定量  $\Delta L$  ずつ長くなるアレイ導波路 81 の長さに応じて、溝 82a ~ 82n の長さも、一定量  $\Delta L$  に比例した量  $\Delta L' / n$  ずつそれぞれ長くなるように設定されている。

#### 【0103】

また、これらの溝 82a ~ 82n には、アレイ導波路 81 の実効屈折率の温度

係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料 83a ~ 83n がそれぞれ充填されている。

また、アレイ導波路 81 には、溝 82a の前段に間隔  $d_{gap61}$  だけ空けて、幅  $W_{gap61}$  の導波路間隙 84a が設けられるとともに、溝 82n の後段に間隔  $d_{gap62}$  だけ空けて、幅  $W_{gap62}$  の導波路間隙 84b が設けられ、導波路間隙 84a、84b は、アレイ導波路 81 のコアの一部をクラッドでそれぞれ置き換えることにより構成することができる。

#### 【0104】

また、導波路間隙 84a、84b の幅  $W_{gap61}$ 、 $W_{gap62}$  は、導波路間隙 84a、84b 全体での放射損失が、温度補償材料 83a ~ 83n が充填された溝 82a ~ 82n 全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝 82a と導波路間隙 84a の間隔  $d_{gap61}$  は、導波路間隙 84a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 82a に到達できるような距離に設定することができ、溝 82n と導波路間隙 84b の間隔  $d_{gap62}$  は、溝 82n を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 84b に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0105】

例えば、アレイ導波路 81 の本数  $N_{avg}$  は 130 本、隣接するアレイ導波路 81 の長さの差  $\Delta L$  は  $60\mu m$ 、アレイ導波路 81 の比屈折率差は 1.5%、コア幅×コア厚は  $4.5\mu m \times 4.5\mu m$  とすることができる。なお、この設計により、波長チャネル間隔  $0.8nm$ 、チャネル数 16 のアレイ光導波路回折格子を実現することができる。この時、隣接するアレイ導波路 81 間で全ての溝 82a ~ 82n によって除去される長さの差  $\Delta L'$  は、 $1.25\mu m$  である。

#### 【0106】

また、溝数は 8 とし、隣接する溝 82a ~ 82n の間の間隔  $d_{groove6}$  はそれぞれ  $20\mu m$  とすることができる。この時、隣接するアレイ導波路 81 間で 1 つの溝 82a ~ 82n によって除去される長さの差  $\Delta L' / n$  は、 $1.25 / 8 = 0.16\mu m$  であり、各溝 82a ~ 82n の最大溝幅と最小溝幅の差  $W1$  は、 $W1 = \Delta L' / n \times (N_{avg} - 1) = 20.2\mu m$  である。また、溝 82a ~ 82

nは、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによって形成することができ、エッチング時の再現性を考慮して、最小溝幅 $W_{\min 1}=5\mu\text{m}$ とすることができる。

#### 【0107】

また、導波路間隙84aの幅 $W_{\text{gap}61}$ は $20\mu\text{m}$ 、溝82aと導波路間隙84aとの間の間隔 $d_{\text{gap}61}$ は $20\mu\text{m}$ 、導波路間隙86bの幅 $W_{\text{gap}62}$ は $20\mu\text{m}$ 、溝82nと導波路間隙86bとの間の間隔 $d_{\text{gap}62}$ は $20\mu\text{m}$ とし、温度補償材料83a～83nとして、シリコン樹脂を用いることができる。

この場合、図26の溝252a～252nが設けられたアレイ導波路251の過剰損失が2.6dBであるのに対し、図10の溝82a～82nおよび導波路間隙84a、84bが設けられたアレイ導波路81の過剰損失の合計が1.8dBとなり、図26の構成に比べて、過剰損失を0.8dBだけ低減することができる。

#### 【0108】

図11は、本発明の第9実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、この第9実施形態は、第1損失要素として、複数の溝92a～92nに充填された温度補償材料93a～93nが設けられるとともに、第2損失要素として、溝92a～92nの前段および後段に導波路間隙94a、94bがそれぞれ設けられ、さらに、溝92a～92nおよび導波路間隙94a、94bで分断される光導波路91の幅が拡大された特性補償領域を、アレイ光導波路回折格子に組み込むようにしたものである。

#### 【0109】

図11において、アレイ導波路91には、幅広部93cおよび幅狭部93a、93eが設けられ、幅広部93cおよび幅狭部93a、93eは、テーパ部93b、93dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。そして、アレイ導波路81には、幅広部93cを横切る複数の溝92a～92nが、それぞれ間隔 $d_{\text{groove}7}$ だけ空けて形成され、これらの溝92a～92nは、アレイ導波路91からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0110】

ここで、アレイ導波路 9 1 を横切る各溝 9 2 a ~ 9 2 n の幅は、 $W_2 \sim W_2 + W_{\min 2}$  でそれぞれ単調に増加するように構成されている。また、一定量  $\Delta L$  ずつ長くなるアレイ導波路 9 1 の長さに応じて、溝 9 2 a ~ 9 2 n の長さも、一定量  $\Delta L$  に比例した量  $\Delta L' / n$  ずつそれぞれ長くなるように設定されている。

また、これらの溝 9 2 a ~ 9 2 n には、アレイ導波路 9 1 の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料 9 3 a ~ 9 3 n がそれぞれ充填されている。

#### 【0111】

また、アレイ導波路 8 1 の幅広部 9 3 c には、溝 9 2 a の前段に間隔  $d_{\text{gap}71}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}71}$  の導波路間隙 9 4 a が設けられるとともに、溝 9 2 n の後段に間隔  $d_{\text{gap}72}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap}72}$  の導波路間隙 9 4 b が設けられ、導波路間隙 9 4 a、9 4 b は、アレイ導波路 9 1 のコアの一部をクラッドでそれぞれ置き換えることにより構成することができる。また、導波路間隙 9 4 a、9 4 b の幅  $W_{\text{gap}71}$ 、 $W_{\text{gap}72}$  は、導波路間隙 9 4 a、9 4 b 全体での放射損失が、温度補償材料 9 3 a ~ 9 3 n が充填された溝 9 2 a ~ 9 2 n 全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。

#### 【0112】

また、溝 9 2 a と導波路間隙 9 4 a の間隔  $d_{\text{gap}71}$  は、導波路間隙 9 4 a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 9 2 a に到達できるような距離に設定することができる。溝 9 2 n と導波路間隙 9 4 b の間隔  $d_{\text{gap}72}$  は、溝 9 2 n を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 9 4 b に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0113】

例えば、アレイ導波路 9 1 の本数  $N_{\text{avg}}$  は 130 本、隣接するアレイ導波路 9 1 の長さの差  $\Delta L$  は  $60 \mu\text{m}$ 、アレイ導波路 9 1 の比屈折率差は 1.5%、幅狭部 9 3 a、9 3 e のコア幅×コア厚は  $4.5 \mu\text{m} \times 4.5 \mu\text{m}$ 、幅広部 9 3 c のコア幅×コア厚は  $9.0 \mu\text{m} \times 4.5 \mu\text{m}$ 、溝数は 8、隣接する溝 9 2 a ~ 9 2 n の間の間隔  $d_{\text{groove}7}$  はそれぞれ  $20 \mu\text{m}$ 、溝 9 2 a ~ 9 2 n の最小溝幅  $W_{\min 2} = 5 \mu\text{m}$ 、導波路間隙 9 4 a の幅  $W_{\text{gap}71}$  は  $20 \mu\text{m}$ 、溝 9 2 a と導波路間隙 9

4 a との間の間隔  $d_{\text{gap71}}$  は  $15\ \mu\text{m}$ 、導波路間隙 9 6 b の幅  $W_{\text{gap72}}$  は  $20\ \mu\text{m}$ 、溝 9 2 n と導波路間隙 9 6 b との間の間隔  $d_{\text{gap72}}$  は  $15\ \mu\text{m}$  とし、温度補償材料 9 3 a ~ 9 3 n として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0114】

この場合、図 2 6 の溝 2 5 2 a ~ 2 5 2 n が設けられたアレイ導波路 2 5 1 の過剰損失が 2.6 dB であるのに対し、図 1 1 の溝 9 2 a ~ 9 2 n および導波路間隙 9 4 a、9 4 b に加え、幅広部 9 3 c が設けられたアレイ導波路 9 1 の過剰損失の合計が 1.0 dB となり、図 2 6 の構成に比べて、過剰損失を 1.6 dB だけ低減することができる。

#### 【0115】

図 1 2 は、本発明の第 10 実施形態に係る光導波回路の概略構成を示す平面図である。なお、この第 10 実施形態は、第 1 損失要素として、溝 1 1 0 に充填された温度補償材料が設けられるとともに、第 2 損失要素として、溝 1 1 0 の前段および後段に導波路間隙 1 1 1 a、1 1 1 b がそれぞれ設けられた特性補償領域 1 0 9 を、熱光学スイッチに組み込むようにしたものである。

#### 【0116】

図 1 2 において、シリコン基板 1 0 1 上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとするアーム導波路 1 0 4 a、1 0 4 b が形成されている。

また、アーム導波路 1 0 4 a には、熱光学スイッチの消費電力を低減する特性補償領域 1 0 9 が設けられ、特性補償領域 1 0 9 には、アーム導波路 1 0 4 a を横切る溝 1 1 0 が設けられ、溝 1 1 0 は、アーム導波路 1 0 4 a からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0117】

また、溝 1 1 0 には、アーム導波路 1 0 4 a の実効屈折率の温度係数と異なる符合の屈折率温度係数を有する温度補償材料が充填されている。

また、特性補償領域 1 0 9 には、溝 1 1 0 の前段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙 1 1 1 a が設けられるとともに、溝 1 1 0 の後段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙 1 1 1 b が設けられ、これらの導波路間隙 1 1 1 a、1 1 1 b は、アーム導波路 1 0 4 a のコアの一部をクラッドで置き換えること

により構成することができる。

#### 【0118】

また、各アーム導波路104a、104bの両端には、方向性結合器103、105がそれぞれ接続され、方向性結合器103の入力側には、入力導波路102a、102bがそれぞれ接続され、方向性結合器105の出力側には、出力導波路106a、106bがそれぞれ接続されている。

また、アーム導波路104aの横には、薄膜ヒータ107が形成され、薄膜ヒータ107は、配線108a、108bに接続されている。

#### 【0119】

そして、アーム導波路104aを導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙111aを通過した後、温度補償材料が充填された溝110を伝播し、さらに、導波路間隙111bを通過した後、再びアーム導波路104aを伝播する。

このため、溝110に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝110から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、熱光学スイッチの消費電力の低減を図りつつ、アーム導波路104aを光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

#### 【0120】

図13は、本発明の第11実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、この第11実施形態は、第1損失要素として、複数の溝122a～122nに充填された温度補償材料123a～123nが設けられるとともに、第2損失要素として、溝122a～122nの前段および後段に導波路間隙124a、124bがそれぞれ設けられ、さらに、溝122a～122nおよび導波路間隙124a、124bで分断されるアーム導波路121の幅が拡大された特性補償領域を、熱光学スイッチに組み込むようにしたものである。

#### 【0121】

図13において、アーム導波路121には、幅広部121cおよび幅狭部121a、121eが設けられ、幅広部121cおよび幅狭部121a、121eは、テーパ部121b、121dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。そして、アーム導波路121には、幅広部121cを横切る幅W3の複数の溝122



a ~ 122n が、それぞれ間隔  $d_{\text{groove8}}$  だけ空けて形成され、これらの溝 121a ~ 121n は、アーム導波路 121 からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0122】

また、これらの溝 121a ~ 121n には、アーム導波路 121 の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料 121a ~ 121n がそれぞれ充填されている。

また、アーム導波路 121 の幅広部 121c には、溝 122a の前段に間隔  $d_{\text{gap81}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap81}}$  の導波路間隙 124a が設けられるとともに、溝 122n の後段に間隔  $d_{\text{gap82}}$  だけ空けて、幅  $W_{\text{gap82}}$  の導波路間隙 124b が設けられ、導波路間隙 124a、124b は、アーム導波路 121 のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

#### 【0123】

また、導波路間隙 124a、124b の幅  $W_{\text{gap81}}$ 、 $W_{\text{gap82}}$  は、導波路間隙 124a、124b 全体での放射損失が、温度補償材料 123a ~ 123n が充填された溝 122a ~ 122n 全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝 122a と導波路間隙 124a の間隔  $d_{\text{gap81}}$  は、導波路間隙 124a を通過した光波が完全に放射に転じる前に溝 122a に到達できるような距離に設定することができ、溝 122n と導波路間隙 124b の間隔  $d_{\text{gap82}}$  は、溝 122n を通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙 124b に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0124】

例えば、溝数は 12、溝 122a ~ 122n の幅  $W_3$  はそれぞれ  $25\mu\text{m}$ 、隣接する溝 122a ~ 122n の間の間隔  $d_{\text{groove8}}$  はそれぞれ  $20\mu\text{m}$  として、溝 122a ~ 122n によって除去されるアーム導波路 121 の長さは、計  $300\mu\text{m}$  とすることができ、溝 122a ~ 122n は、フォトリソグラフィおよび反応性エッチングによって形成することができる。

#### 【0125】

また、アーム導波路 121 の比屈折率差は 1.5%、幅狭部 121a、121

e のコア幅×コア厚は  $4.5\ \mu\text{m} \times 4.5\ \mu\text{m}$ 、幅広部 121c のコア幅×コア厚は  $9.0\ \mu\text{m} \times 4.5\ \mu\text{m}$ 、導波路間隙 124a の幅  $W_{\text{gap81}}$  は  $20\ \mu\text{m}$ 、溝 122a と導波路間隙 124a との間の間隔  $d_{\text{gap81}}$  は  $15\ \mu\text{m}$ 、導波路間隙 124b の幅  $W_{\text{gap82}}$  は  $20\ \mu\text{m}$ 、溝 122n と導波路間隙 124b との間の間隔  $d_{\text{gap82}}$  は  $15\ \mu\text{m}$  とし、温度補償材料 123a～123n として、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0126】

この場合、図 27 の溝 262a～262n が設けられた光導波路 261 の過剰損失が  $3.1\ \text{dB}$  であるのに対し、図 13 の溝 122a～122n および導波路間隙 124a、124b に加え、幅広部 121c が設けられたアーム導波路 121 の過剰損失の合計が  $2.1\ \text{dB}$  となり、図 27 の構成に比べて、過剰損失を  $1.0\ \text{dB}$  だけ低減することができる。

#### 【0127】

図 14 は、本発明の第 12 実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。なお、この第 12 実施形態は、第 1 損失要素として、溝 137 に充填された温度補償材料が設けられるとともに、第 2 損失要素として、溝 137 の前段および後段に導波路間隙 138a、138b がそれぞれ設けられた特性補償領域 136 を、外部共振器型周波数安定化レーザに組み込むようにしたものである。

#### 【0128】

図 14 において、シリコン基板 131 上には、石英系ガラスをクラッドおよびコアとする光導波路 133 が形成されるとともに、光導波路 133 には光誘起グレーティング 134 が設けられている。

また、光導波路 133 には、温度変化によるモードホップを抑制する特性補償領域 136 が設けられ、特性補償領域 136 には、光導波路 133 を横切る溝 137 が設けられ、溝 137 は、光導波路 133 からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0129】

また、溝 137 には、光導波路 133 の実効屈折率の温度係数と異なる符号の

屈折率温度係数を有する温度補償材料が充填されている。

また、特性補償領域 136 には、溝 137 の前段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙 138a が設けられるとともに、溝 137 の後段に所定間隔だけ隔てて、所定幅の導波路間隙 138b が設けられ、これらの導波路間隙 138a、138b は、光導波路 133 のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

#### 【0130】

また、シリコン基板 131 上には、クラッド層を除去することにより形成されたシリコンテラス 135 が設けられ、シリコンテラス 135 上には、半導体レーザ 132 が搭載されている。

そして、光導波路 133 を導波する光は、放射損失を伴いつつ、導波路間隙 138a を通過した後、温度補償材料が充填された溝 137 を伝播し、さらに、導波路間隙 138b を通過した後、再び光導波路 133 を伝播する。

#### 【0131】

このため、溝 137 に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、溝 137 から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、外部共振器型周波数安定化レーザの温度変化によるモードホップを抑制しつつ、光導波路 133 を光波が伝播する際の過剰損失を減らすことが可能となる。

#### 【0132】

図 15 は、本発明の第 13 実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、この第 13 実施形態は、第 1 損失要素として、複数の溝 142a ~ 142n に充填された温度補償材料 143a ~ 143n が設けられるとともに、第 2 損失要素として、溝 142a ~ 142n の前段および後段に導波路間隙 144a、144b がそれぞれ設けられ、さらに、溝 142a ~ 142n および導波路間隙 144a、144b で分断される光導波路 141 の幅が拡大された特性補償領域を、外部共振器型周波数安定化レーザに組み込むようにしたものである。

#### 【0133】

図 15 において、光導波路 141 には、幅広部 141c および幅狭部 141a

、141eが設けられ、幅広部141cおよび幅狭部141a、141eは、テーパ部141b、141dをそれぞれ介して滑らかに接続されている。そして、光導波路141には、幅広部141cを横切る幅W4の複数の溝142a～142nが、それぞれ間隔 $d_{\text{groove9}}$ だけ空けて形成され、これらの溝141a～141nは、光導波路141からクラッドおよびコアの一部を除去することにより形成することができる。

#### 【0134】

また、これらの溝142a～142nには、光導波路141の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する温度補償材料143a～143nがそれぞれ充填されている。

また、光導波路141の幅広部141cには、溝142aの前段に間隔 $d_{\text{gap91}}$ だけ空けて、幅 $W_{\text{gap91}}$ の導波路間隙144aが設けられるとともに、溝142nの後段に間隔 $d_{\text{gap92}}$ だけ空けて、幅 $W_{\text{gap92}}$ の導波路間隙144bが設けられ、これらの導波路間隙144a、144bは、光導波路141のコアの一部をクラッドで置き換えることにより構成することができる。

#### 【0135】

また、導波路間隙144a、144bの幅 $W_{\text{gap91}}$ 、 $W_{\text{gap92}}$ は、導波路間隙144a、144b全体での放射損失が、温度補償材料143a～143nが充填された溝142a～142n全体での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、溝142aと導波路間隙144aの間隔 $d_{\text{gap91}}$ は、導波路間隙144aを通過した光波が完全に放射に転じる前に溝142aに到達できるような距離に設定することができ、溝142nと導波路間隙144bの間隔 $d_{\text{gap92}}$ は、溝142nを通過した光波が完全に放射に転じる前に導波路間隙144bに到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0136】

例えば、溝数は12、溝142a～142nの幅W4はそれぞれ $25\mu\text{m}$ 、隣接する溝142a～142nの間の間隔 $d_{\text{groove9}}$ はそれぞれ $20\mu\text{m}$ として、溝142a～142nによって除去される光導波路141の長さは、計 $300\mu\text{m}$ とすることができ、溝142a～142nは、フォトリソグラフィおよび反応

性エッチングによって形成することができる。

#### 【0137】

また、光導波路141の比屈折率差は1.5%、幅狭部141a、141eのコア幅×コア厚は $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、幅広部141cのコア幅×コア厚は $9.0\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、導波路間隙144aの幅 $W_{\text{gap91}}$ は $20\mu\text{m}$ 、溝142aと導波路間隙144aとの間の間隔 $d_{\text{gap91}}$ は $15\mu\text{m}$ 、導波路間隙144bの幅 $W_{\text{gap92}}$ は $20\mu\text{m}$ 、溝142nと導波路間隙144bとの間の間隔 $d_{\text{gap92}}$ は $15\mu\text{m}$ とし、温度補償材料143a～143nとして、シリコン樹脂を用いることができる。

#### 【0138】

この場合、図27の溝262a～262nが設けられた光導波路261の過剰損失が3.1dBであるのに対し、図15の溝142a～142nおよび導波路間隙144a、144bに加え、幅広部141cが設けられた光導波路141の過剰損失の合計が2.1dBとなり、図27の構成に比べて、過剰損失を1.0dBだけ低減することができる。

#### 【0139】

図16は、本発明の第14実施形態に係る光導波回路の構成を示す平面図である。なお、第14実施形態は、光導波路の交差部の前段および後段に、ダミー導波路を交差させるようにしたものである。

図16において、石英系ガラスをクラッドおよびコアとする光導波路151、152が交差するように配置されている。ここで、光導波路151、152の交差角 $\alpha$ は、プレーナ光波回路全体のレイアウトに依存して設定することができる。また、光導波路151、152の交差部の前段および後段には、光導波路151と交差するようにして、ダミー導波路153、154がそれぞれ配置されている。

#### 【0140】

ここで、ダミー導波路153、154の幅は、ダミー導波路153、154と光導波路151との交差部全体での放射損失が、光導波路151、152の交差部での放射損失より小さくなるように設定することができる。また、光導波路1

51、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路153の交差部との間の間隔 $d_1$ は、光導波路151とダミー導波路153の交差部を通過した光波が完全に放射に転じる前に光導波路151、152の交差部に到達できるような距離に設定することができ、光導波路151、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路154の交差部との間の間隔 $d_2$ は、光導波路151、152の交差部を通過した光波が完全に放射に転じる前に光導波路151とダミー導波路154の交差部に到達できるような距離に設定することができる。

#### 【0141】

例えば、光導波路151、152の交差角 $\alpha$ は $15^\circ$ 、光導波路151、152およびダミー導波路153、154の比屈折率差は1.5%、光導波路151、152のコア幅×コア厚は $4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、ダミー導波路153、154のコア幅×コア厚は $1.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、光導波路151、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路153の交差部との間の間隔 $d_1$ は $25\mu\text{m}$ 、光導波路151、152の交差部と、光導波路151とダミー導波路154の交差部との間の間隔 $d_2$ は $25\mu\text{m}$ とすることができる。

#### 【0142】

そして、光導波路151を導波する光は、放射損失を伴いつつ、光導波路151とダミー導波路153の交差部を通過した後、光導波路151、152の交差部を通過し、さらに、光導波路151とダミー導波路154の交差部を通過した後、再び光導波路151を伝播する。

このため、光導波路151、152の交差部の前段にダミー導波路153を設けることにより、光導波路151、152の交差部に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となるとともに、光導波路151、152の交差部の後段にダミー導波路153を設けることにより、光導波路151、152の交差部から出射する光波のビーム径を擬似的に拡大することが可能となり、交差部が設けられた光導波路151を光波が伝播する際の過剰損失をさらに減らすことが可能となる。

#### 【0143】

例えば、図32の光導波路291、292の交差部での過剰損失が0.034

dBであるのに対し、図16のダミー導波路153、154が設けられた光導波路151の交差部での過剰損失の合計が0.023dBとなり、図32の構成に比べて、過剰損失を0.011dBだけ低減することができる。

なお、上述した実施形態では、単一導波路、アレイ導波路回折格子、熱光学スイッチ、外部共振器型周波数安定化レーザ、交差導波路を例にとって説明したが、本発明はこれらの光導波回路に限定されることなく、他の様々の光導波回路に適用することが可能である。

#### 【0144】

例えば、光導波路の一部が除去されて形成され、雰囲気中に開口されている溝、光導波路の一部が除去されて形成され、シリコン樹脂などの材料が充填された溝、光導波路の一部が除去されて形成され、薄膜フィルタなど任意の特性を有する光学材料および部品が挿入された溝、光導波路の一部が除去されて形成され、薄膜フィルタなど任意の特性を有する光学材料および部品が挿入されるとともに、接着剤などの材料が充填された溝、あるいは、他の光導波路との交差など、伝播する光波に放射損失を生じさせる損失要素を光導波路上に有する光導波回路全般に適用することができる。

#### 【0145】

また、上述した実施形態では、光導波路の比屈折率差、コア幅およびコア厚などを特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第1～第13実施形態では、第2損失要素が導波路間隙である場合を例にとって説明したが、第2損失要素は必ずしも導波路間隙である必要はなく、例えば、導波路交差などの他の様々の損失要素を用いることができ、高比屈折率差光導波路と低比屈折率差光導波路とを結合させるようにしてもよい。

#### 【0146】

また、上述した第1～第13実施形態では、溝の本数および幅、隣接する溝の間隔、導波路間隙の個数および幅、隣接する導波路間隙の間隔、隣接する溝と導波路間隙の間隔などを特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第4、第6、第9、第11および第13実施形態では、導波路損失部のコア幅を大きくする方法について説明したが、導波路損失部のコア厚を大きくしたり、導波路損失部のコア幅およびコア厚の双方を大きくしたり、導波路損失部のコア幅を小さくしたり、導波路損失部のコア厚を小さくしたり、導波路損失部のコア幅およびコア厚の双方を小さくしたりしてもよい。

#### 【0147】

また、上述した第7～第9実施形態では、アレイ導波路回折格子のパラメータを特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第11実施形態では、第2損失要素が導波路交差である場合を例にとって説明したが、第2損失要素は必ずしも導波路交差である必要はなく、例えば、導波路間隙などの他の様々の損失要素を用いることができる。

#### 【0148】

また、上述した第11実施形態では、隣接する導波路交差の間隔を特定の値に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

また、上述した第11実施形態では、光導波路151、152の交差角 $\alpha$ を $45^\circ$ 、光導波路151とダミー導波路153の交差角を $90^\circ$ 、光導波路151とダミー導波路154の交差角を $90^\circ$ に限定して説明したが、本発明は必ずしもこれらの値に限定されるものではない。

#### 【0149】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、第1損失要素の放射損失よりも小さな放射損失を生じさせる第2損失要素を光導波路に設けることにより、第1損失要素に入射する光波のビーム径を擬似的に拡大して、第1損失要素における光波の放射角を小さくすることができ、光導波路を光が伝搬する際の過剰損失を低減させることが可能となる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

図1(a)は、本発明の第1実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図



1 (b) は、図 1 (a) の A 1 - A 1 線で切断した断面図である。

【図 2】

図 2 (a) は、図 1 (a) の B 1 - B 1 線で切断した断面図、図 2 (b) は、図 1 (a) の C 1 - C 1 線で切断した断面図、図 1 (a) の D 1 - D 1 線で切断した断面図である。

【図 3】

図 3 (a) は、本発明の第 2 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 3 (b) は、図 3 (a) の A 2 - A 2 線で切断した断面図である。

【図 4】

図 4 (a) は、本発明の第 3 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 4 (b) は、図 4 (a) の A 3 - A 3 線で切断した断面図である。

【図 5】

図 5 (a) は、本発明の第 4 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 5 (b) は、図 5 (a) の A 4 - A 4 線で切断した断面図である。

【図 6】

図 6 (a) は、図 5 (a) の B 4 - B 4 線で切断した断面図、図 6 (b) は、図 5 (a) の C 4 - C 4 線で切断した断面図である。

【図 7】

図 7 (a) は、本発明の第 5 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 7 (b) は、図 7 (a) の A 5 - A 5 線で切断した断面図である。

【図 8】

図 8 (a) は、本発明の第 6 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図、図 8 (b) は、図 8 (a) の A 6 - A 6 線で切断した断面図である。

【図 9】

本発明の第 7 実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。

【図 10】

本発明の第 8 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

【図 11】

本発明の第 9 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

**【図 1 2】**

本発明の第 10 実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。

**【図 1 3】**

本発明の第 11 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

**【図 1 4】**

本発明の第 12 実施形態に係る光導波路回路の概略構成を示す平面図である。

**【図 1 5】**

本発明の第 13 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

**【図 1 6】**

本発明の第 14 実施形態に係る光導波路の構成を示す平面図である。

**【図 1 7】**

従来のアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図である。

**【図 1 8】**

図 1 7 の A 7 - A 7 線で切断した断面図である。

**【図 1 9】**

従来の熱光学スイッチの構成を示す平面図である。

**【図 2 0】**

図 1 9 の A 8 - A 8 線で切断した断面図である。

**【図 2 1】**

従来の外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図である。

**【図 2 2】**

従来の温度補償化されたアレイ光導波路回折格子の構成を示す平面図である。

**【図 2 3】**

図 2 2 の光導波路を 1 本分について示す平面図である。

**【図 2 4】**

図 2 2 の光導波路を拡大して示す平面図である。

**【図 2 5】**

図 2 5 (a) は、図 2 3 の A 9 - A 9 線で切断した断面図、図 2 5 (b) は、図 2 3 の A 10 - A 10 線で切断した断面図である。

**【図 26】**

図 22 の光導波路のその他の例を示す平面図である。

**【図 27】**

図 26 の光導波路を 1 本分について示す平面図である。

**【図 28】**

従来のポリマーアシステッド熱光学スイッチの構成を示す平面図である。

**【図 29】**

図 19 の A11-A11 線で切断した断面図である。

**【図 30】**

従来のモードホップが抑制化された外部共振器型周波数安定化レーザの構成を示す斜視図である。

**【図 31】**

図 31 (a) は、図 30 の A12-A12 線で切断した断面図、図 31 (b) は、図 30 の A13-A13 線で切断した断面図である。

**【図 32】**

従来の交差型光導波路の構成を示す平面図である。

**【図 33】**

溝により除去された導波路の長さと放射損失との関係を示す図である。

**【符号の説明】**

- 1、11、21、31、41、51、61、101、131 シリコン基板
- 2、12、22、32、42、52 クラッド層
- 3、13、23、33、43、53、64、121、133、141、151、152 光導波路
- 4、14、24、34、44a~44d、54a~54d、82a~82e、92a~92e、122a~122e、142a~142e 溝
- 5、15、25、35、45a~45d、55a~55d、70、83a~83e、93a~93e、110、123a~123e、137、143a~143e 温度補償材料
- 6、16a、16b、26a~26f、36a、36b、46a、46b、5

6 a、56 b、71 a、71 b、84 a、84 b、94 a、94 b、111 a、  
111 b、124 a、124 b、138 a、138 b、144 a、144 b 導  
波路間隙

33 c、53 c、91 c、121 c、141 c 幅広部

33 a、33 e、53 a、53 e、91 a、91 e、121 a、121 e、1  
41 a、141 e 幅細部

33 b、33 d、53 b、53 d、91 b、91 d、121 b、121 d、1  
41 b、141 d テーパ部

62 a、102 a、102 b 入力導波路

62 b、106 a、106 b 出力導波路

63 a 入力側スラブ導波路

63 b 出力側スラブ導波路

65 a、65 b 光ファイバ

66 a、66 b 光ファイバコネクタ

67 a、67 b 光ファイバ接続部品

68 回路ケース

69、109、136 特性補償領域

81、91 光導波路群

103、105 方向性結合器

104 a、104 b アーム導波路

107 薄膜ヒータ

108 a、108 b 配線

132 半導体レーザ

134 光誘起グレーティング

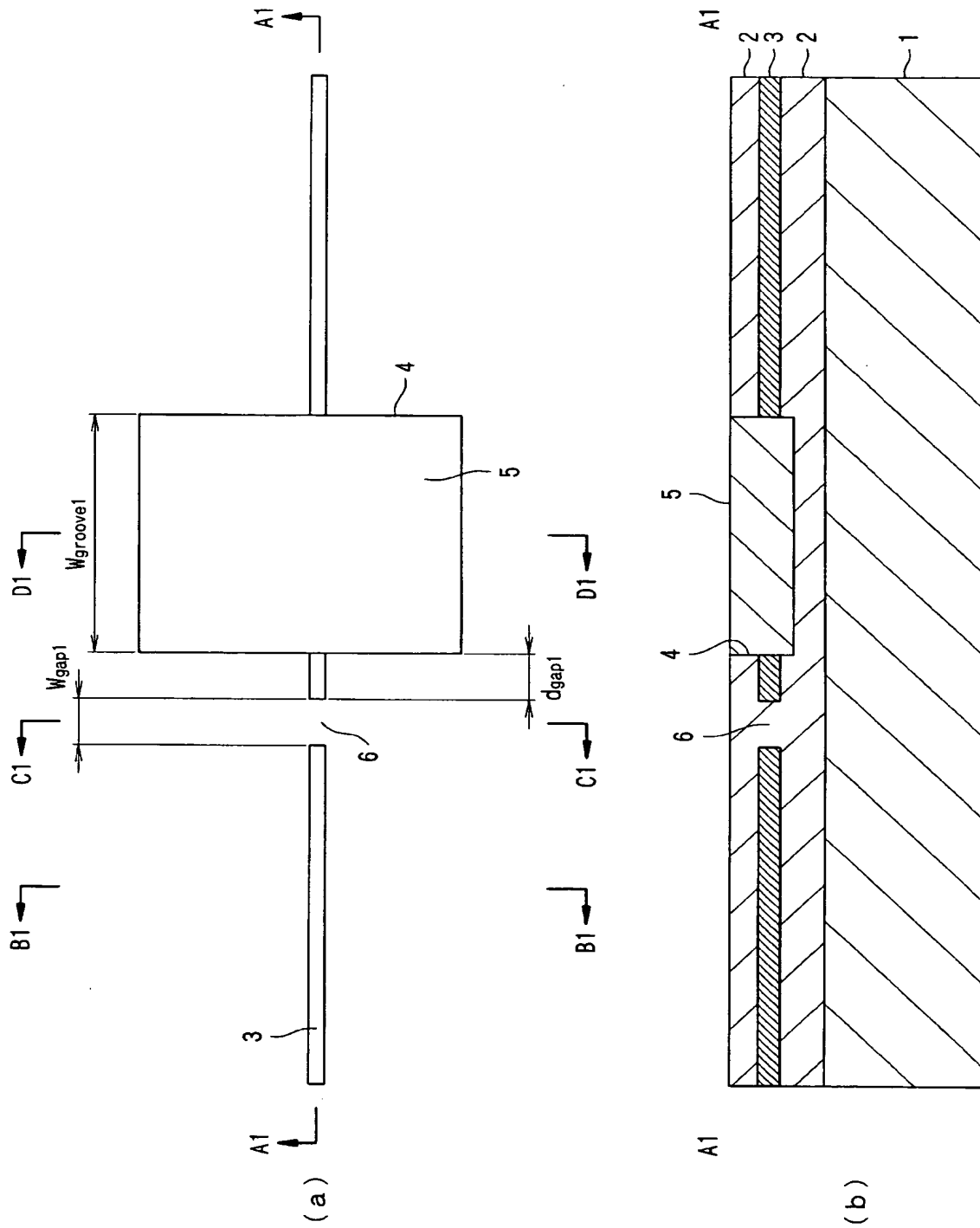
135 シリコンテラス

153、154 ダミー導波路

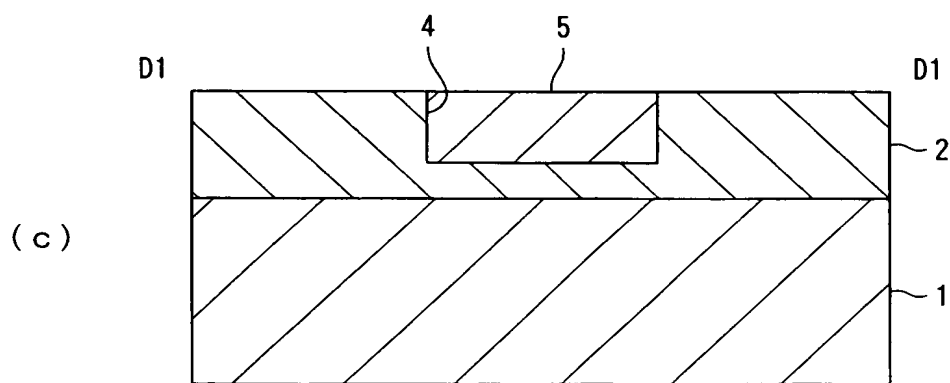
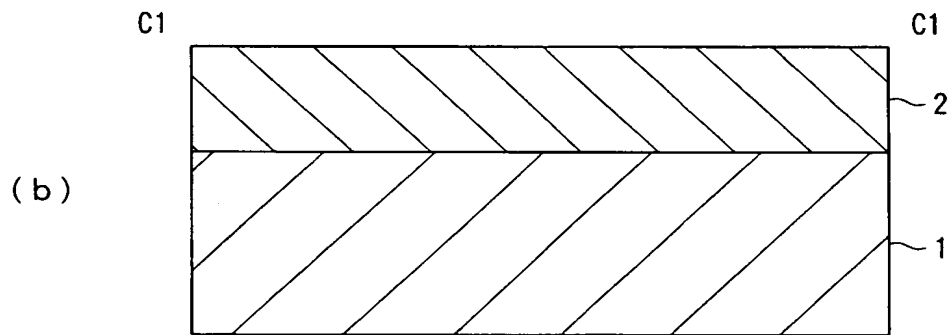
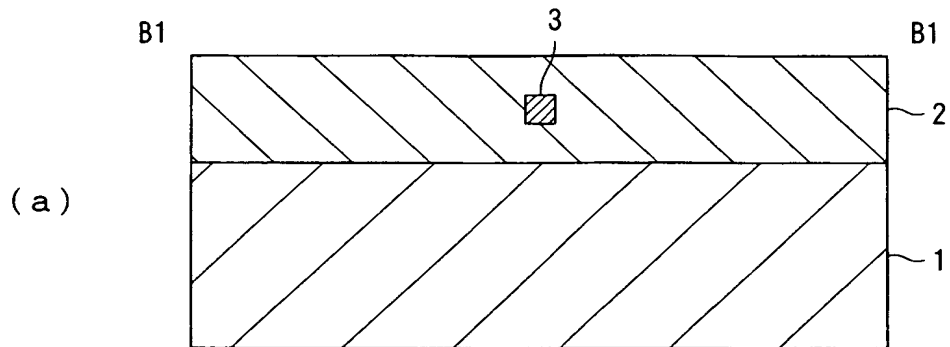
【書類名】

図面

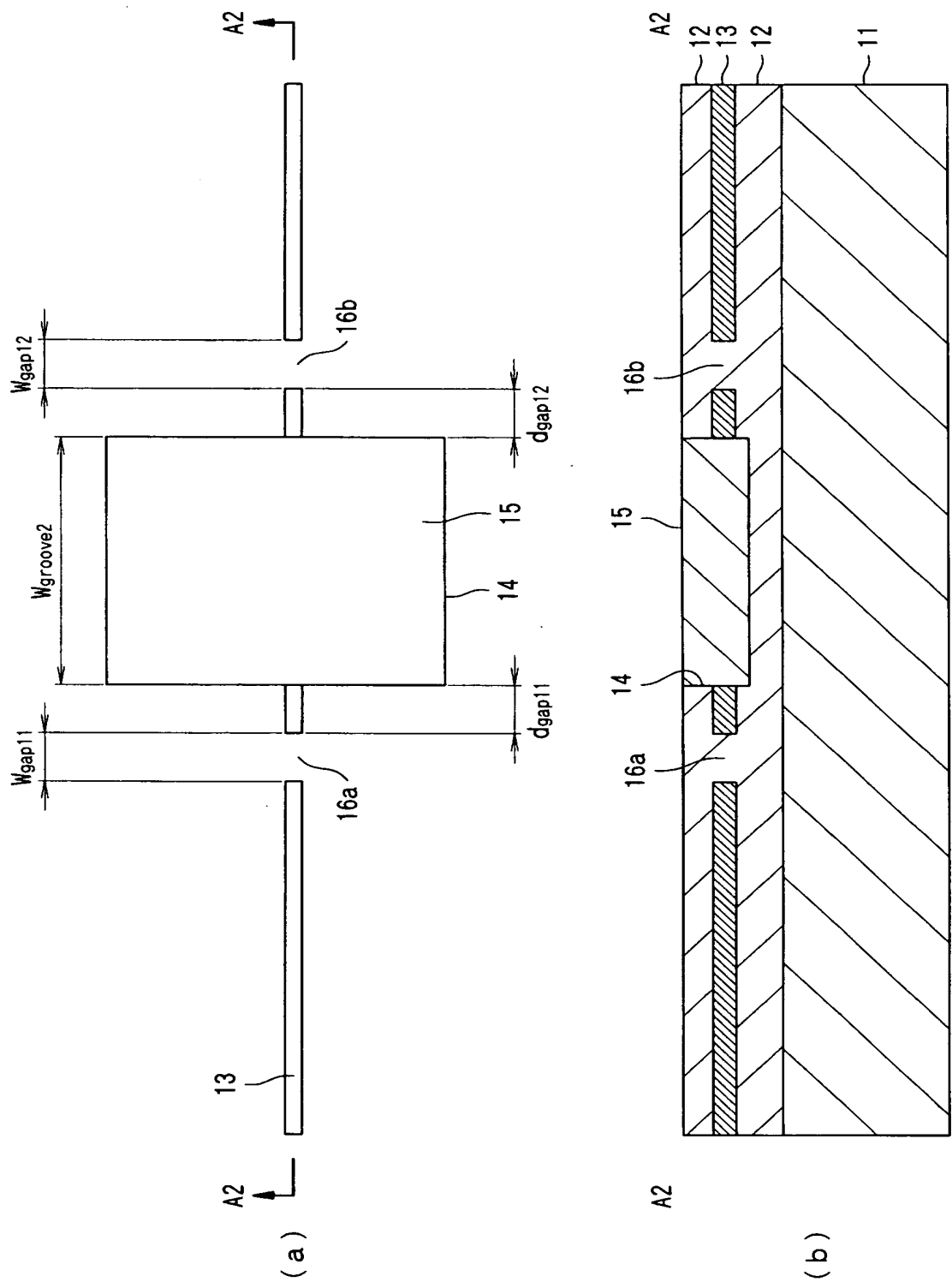
【図 1】



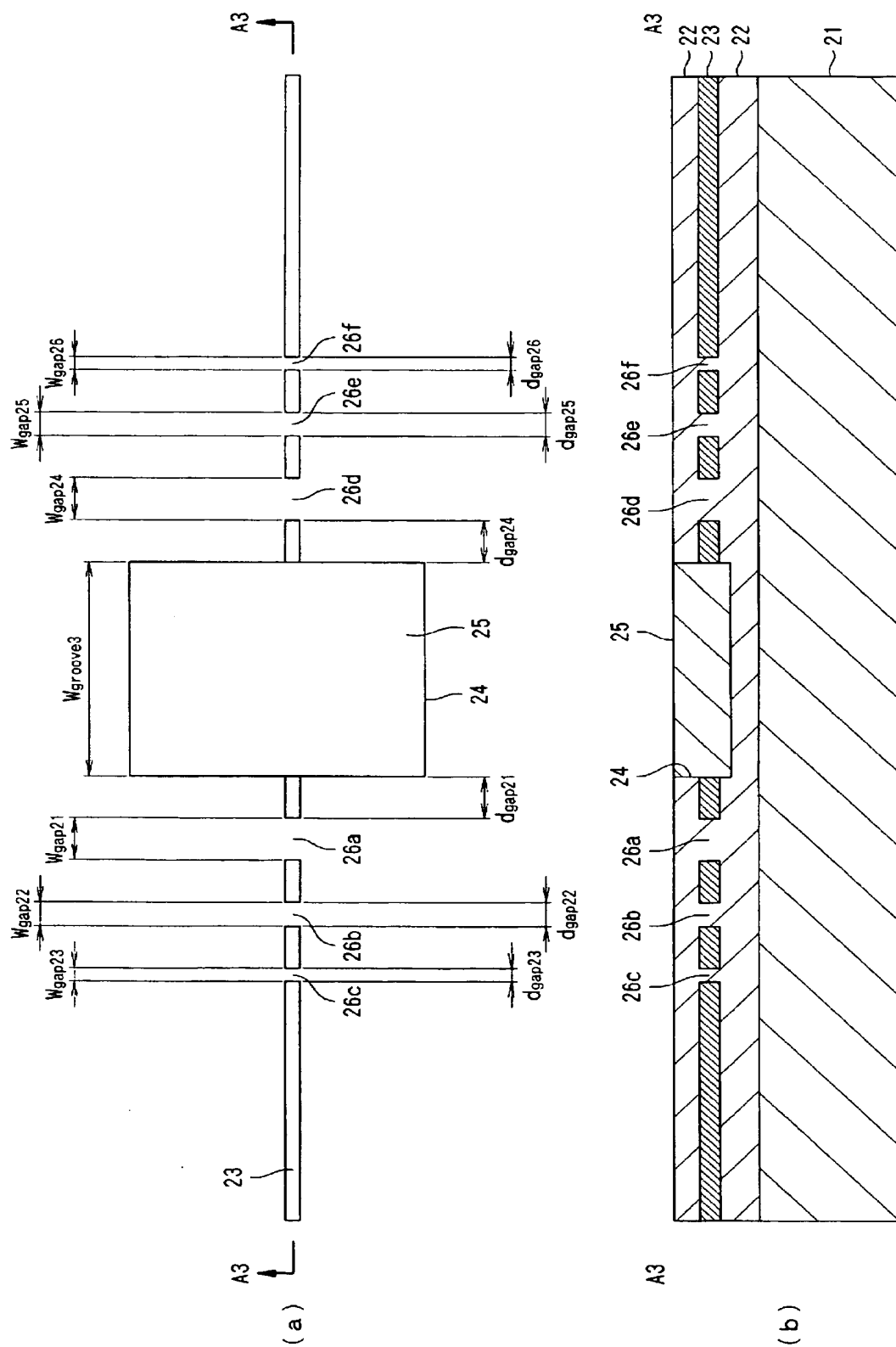
【図 2】



【図 3】

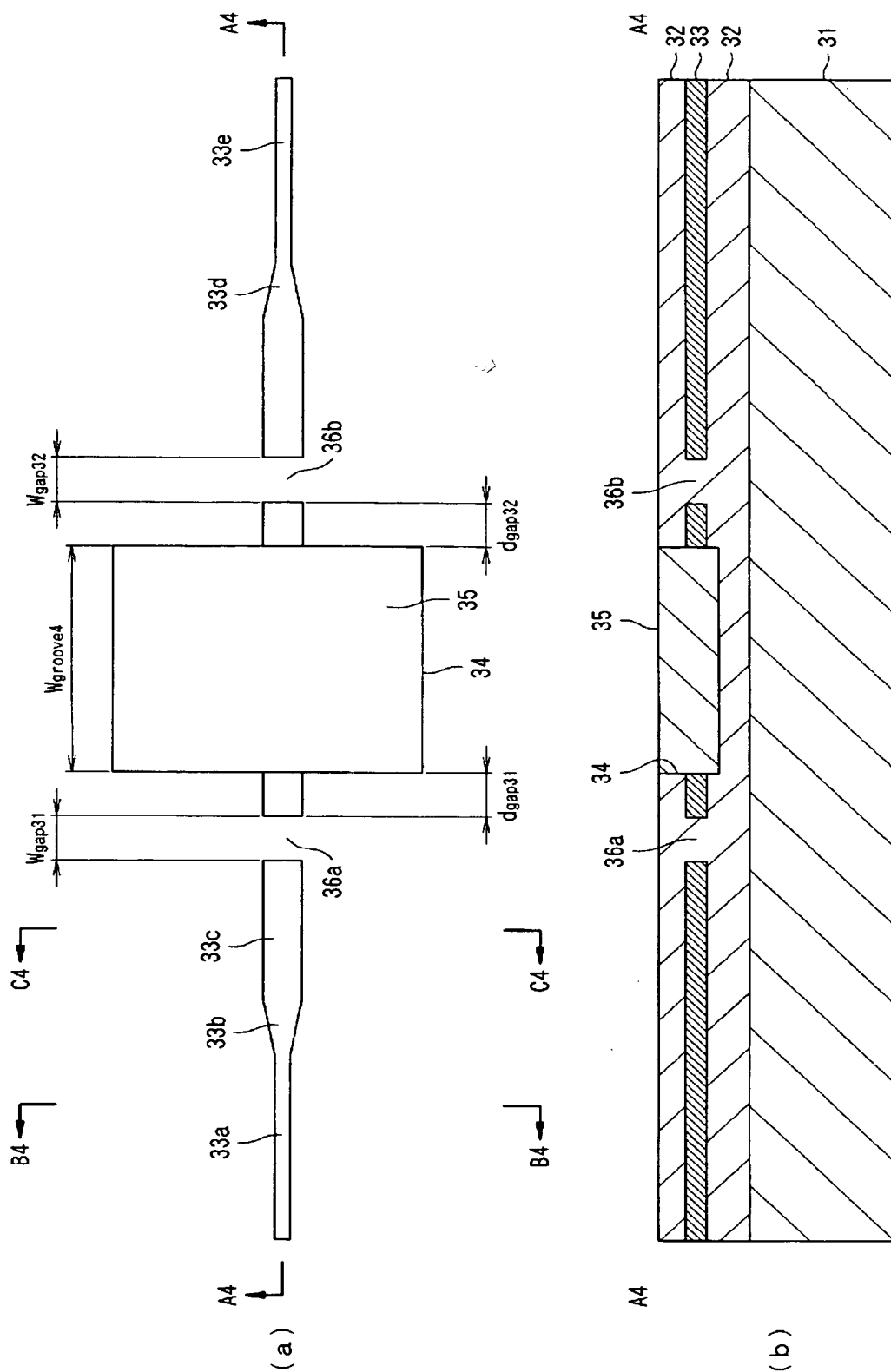


【図 4】

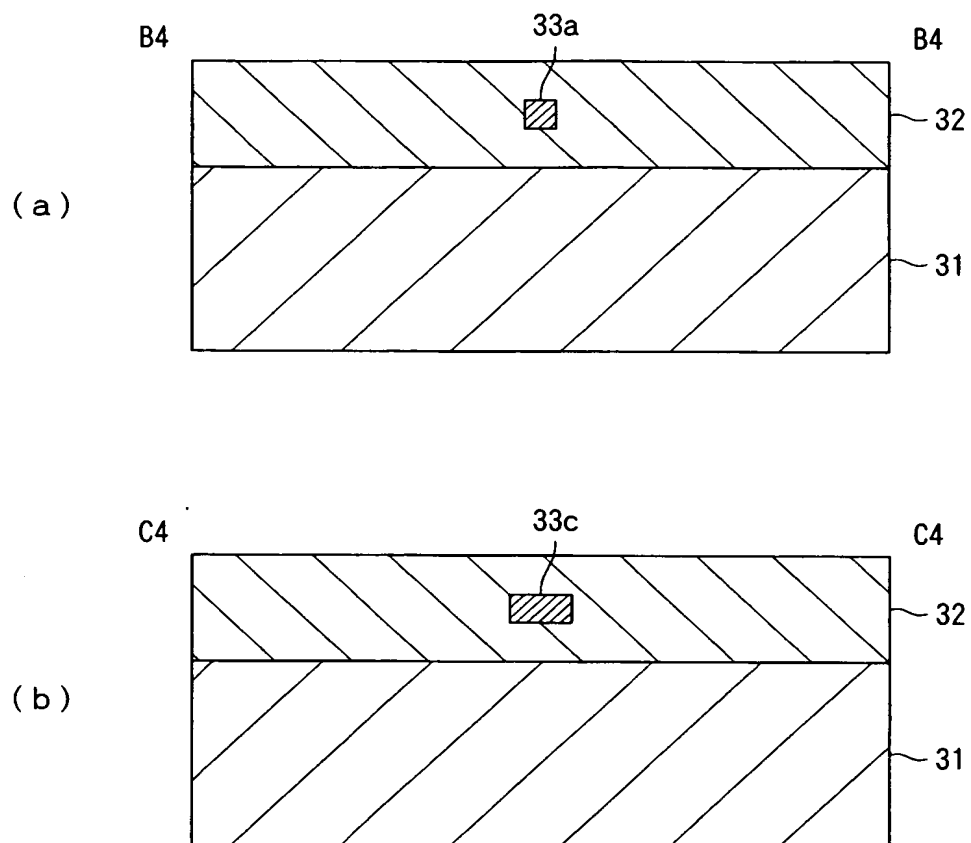




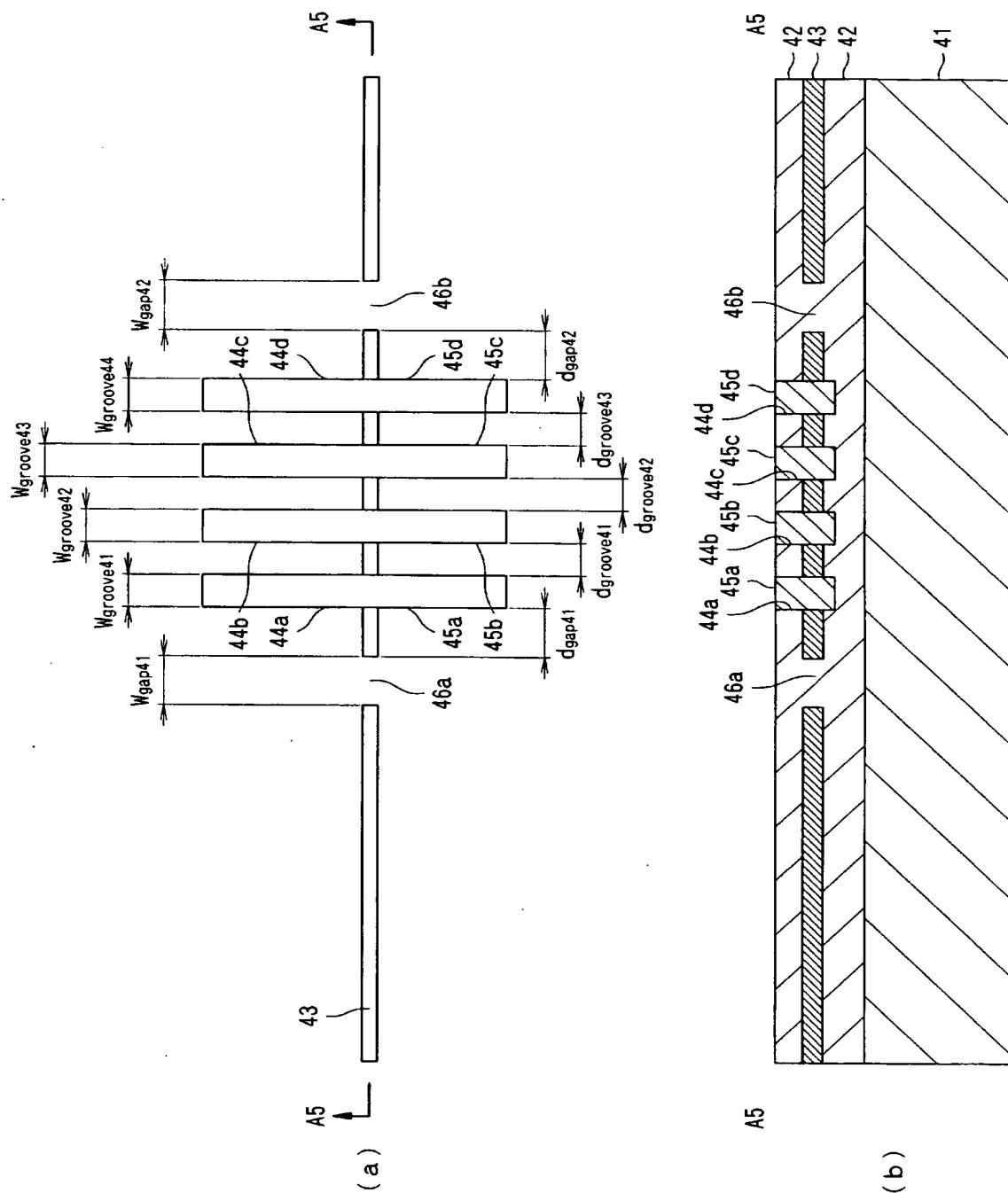
【図 5】



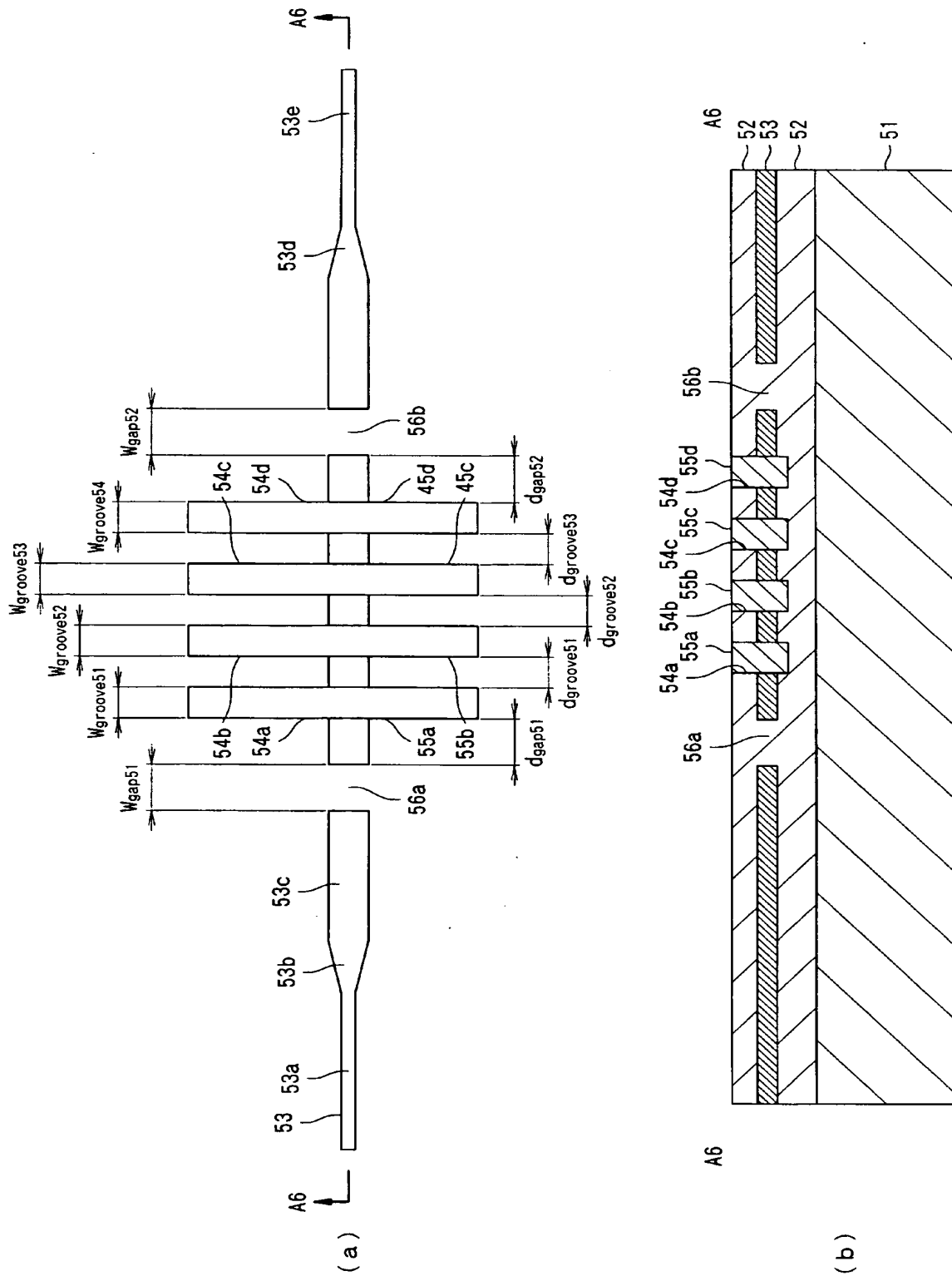
【図 6】



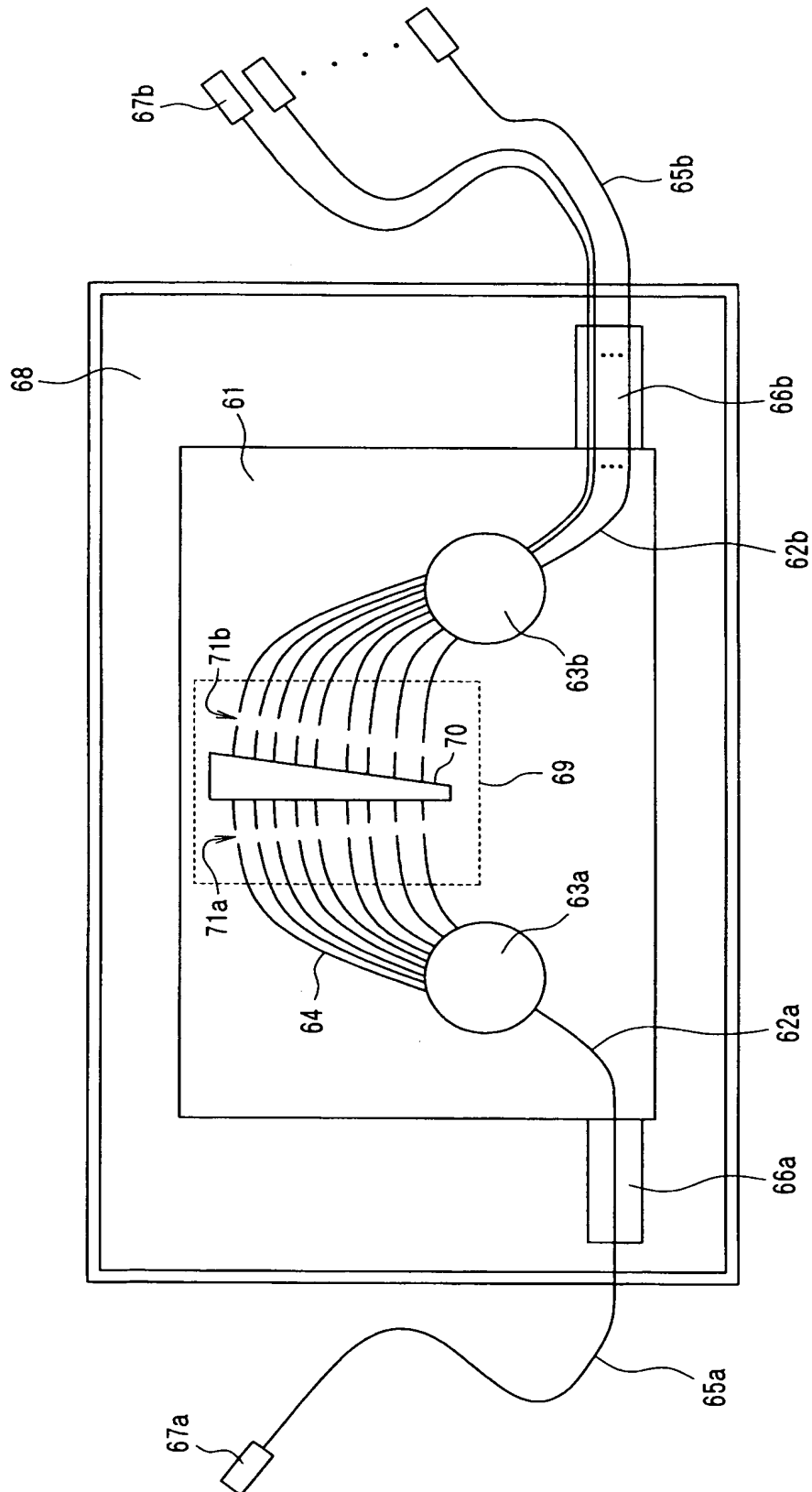
【図 7】



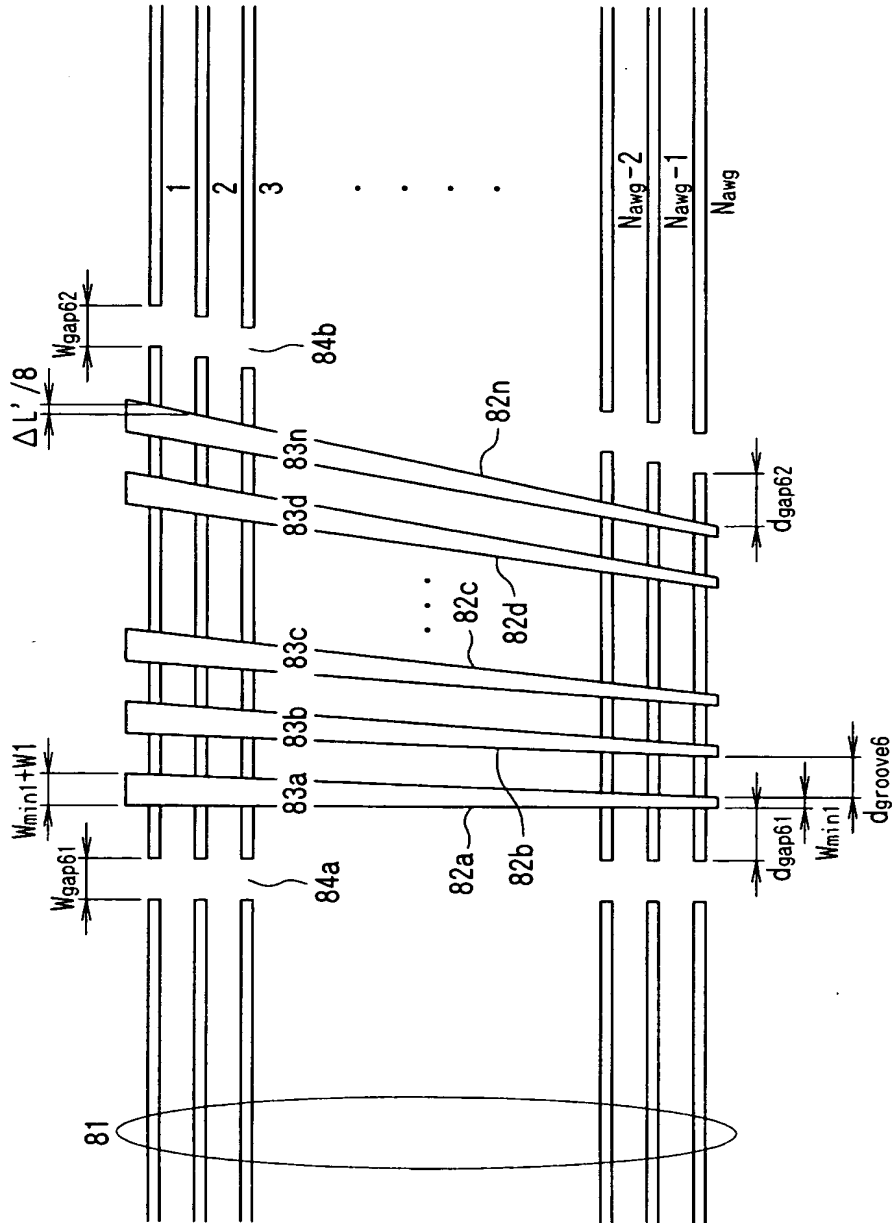
【図 8】



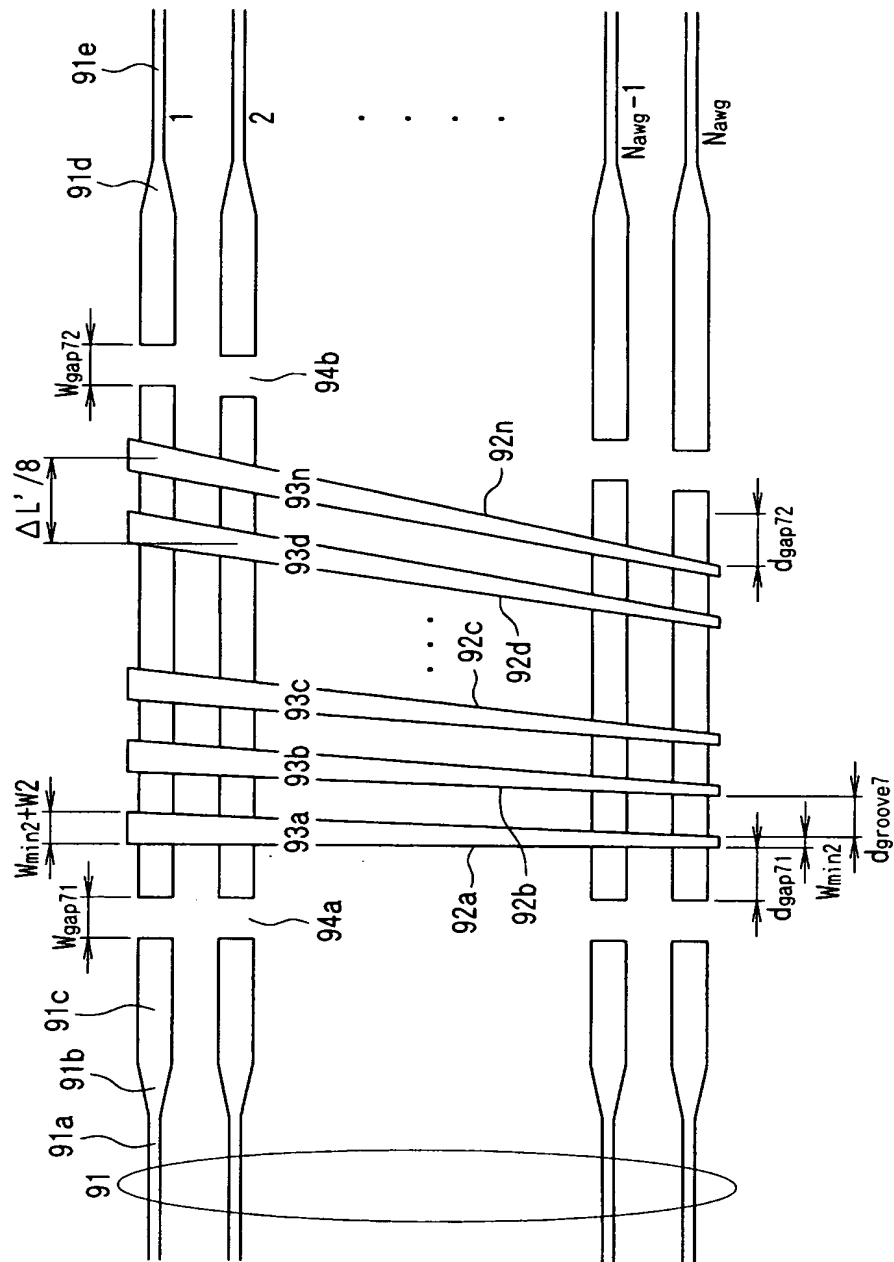
【図 9】



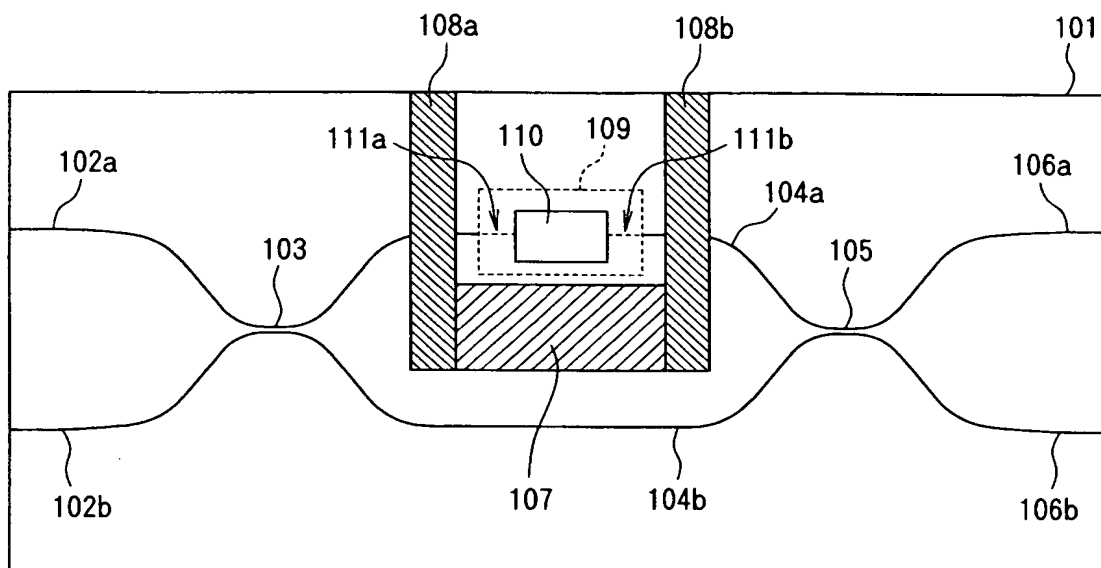
【図 10】



【図 11】

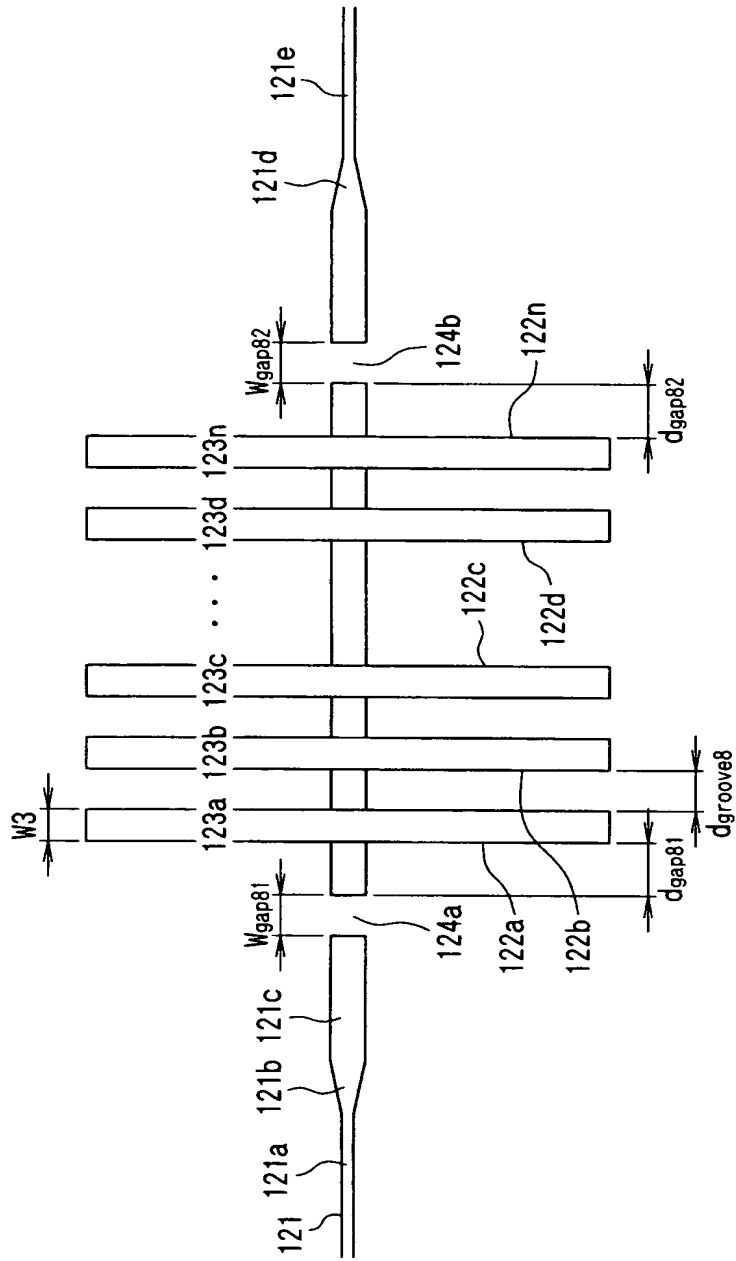


【図 12】

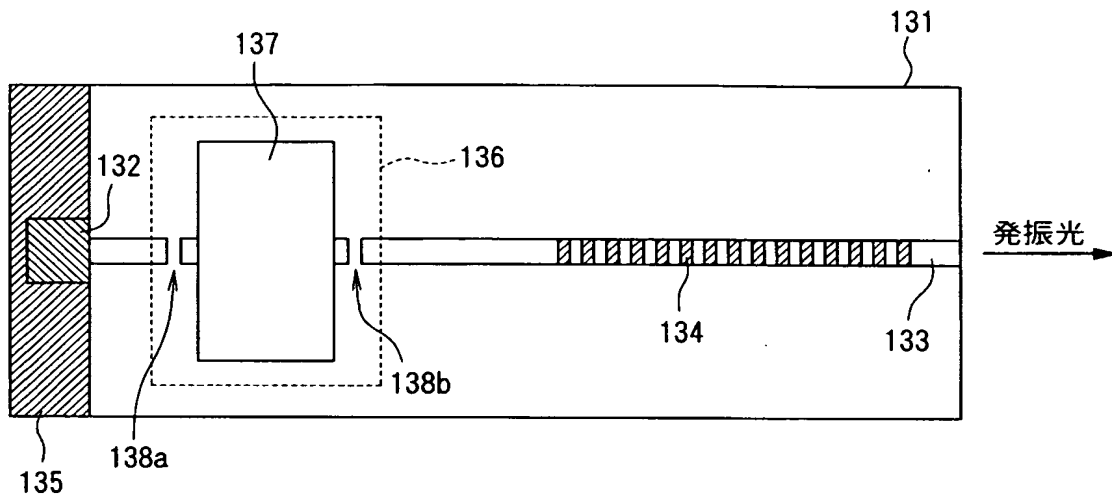




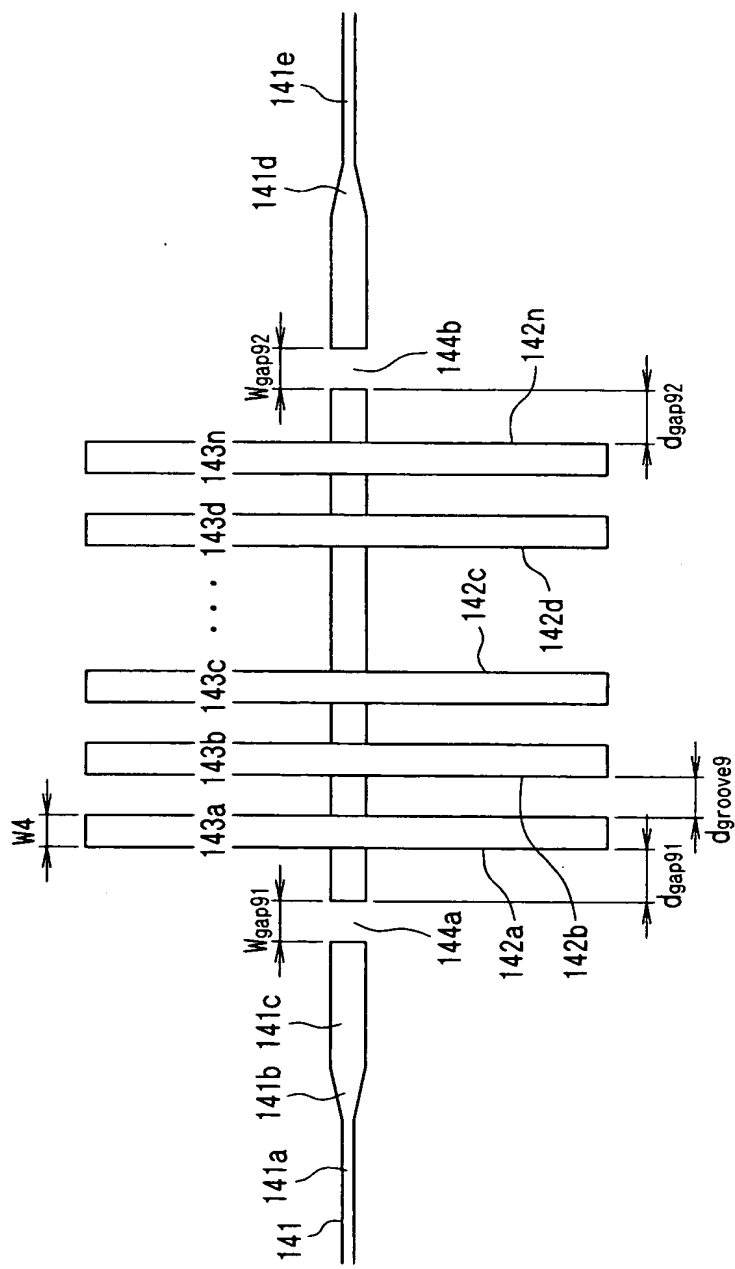
【図 13】



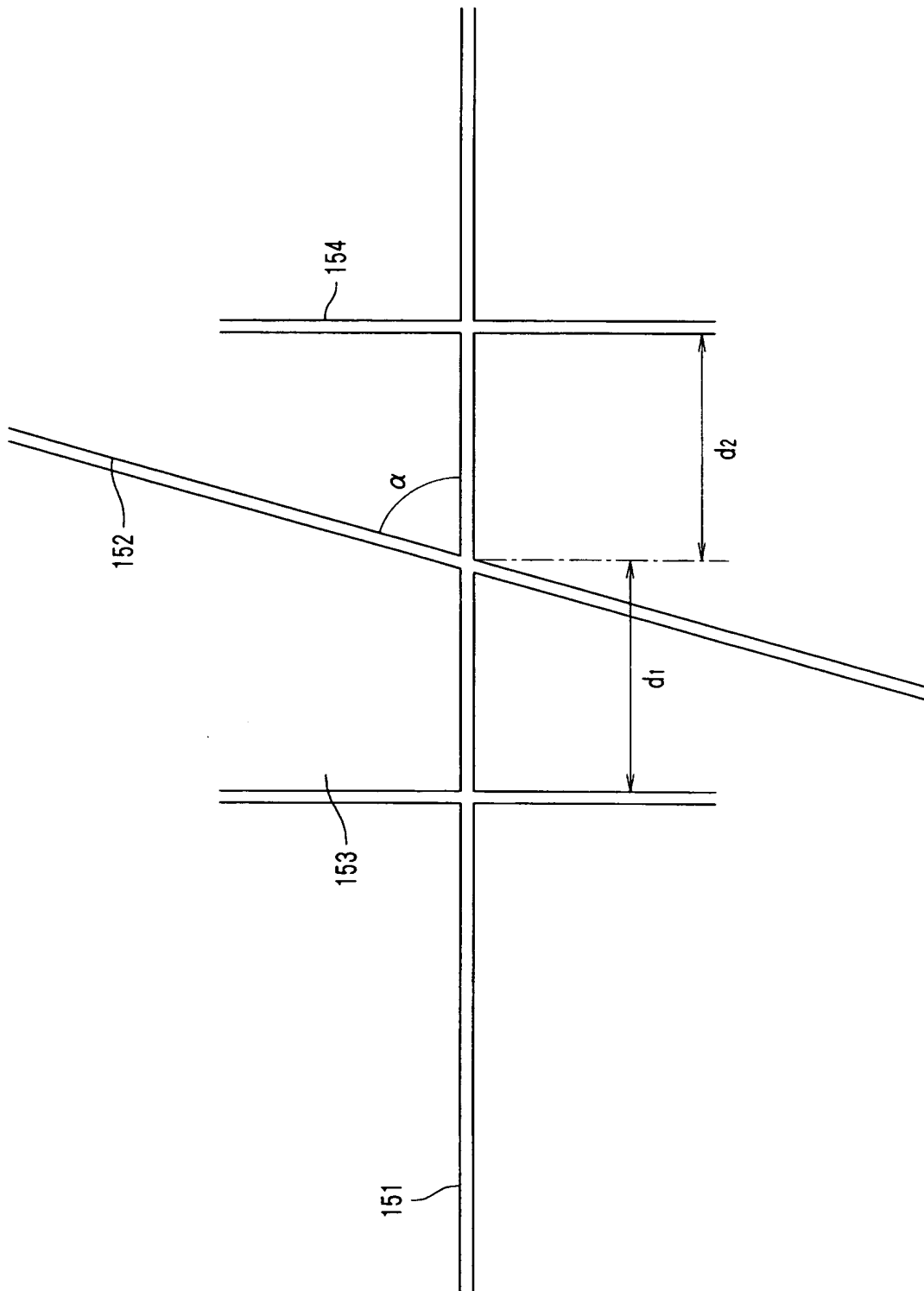
【図 14】



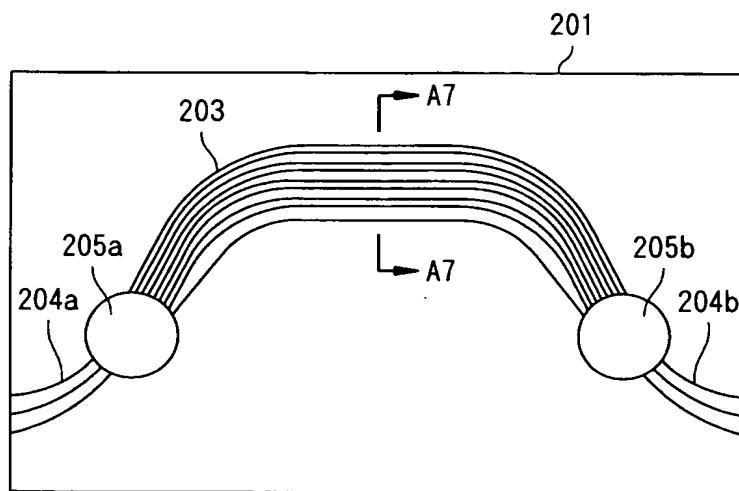
【図 15】



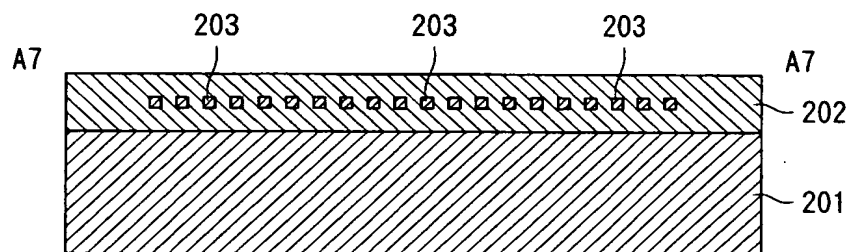
【図 16】



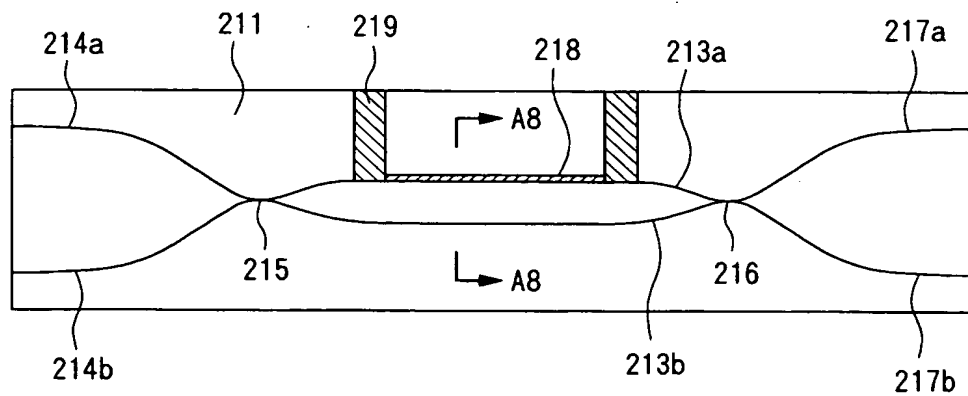
【図 17】



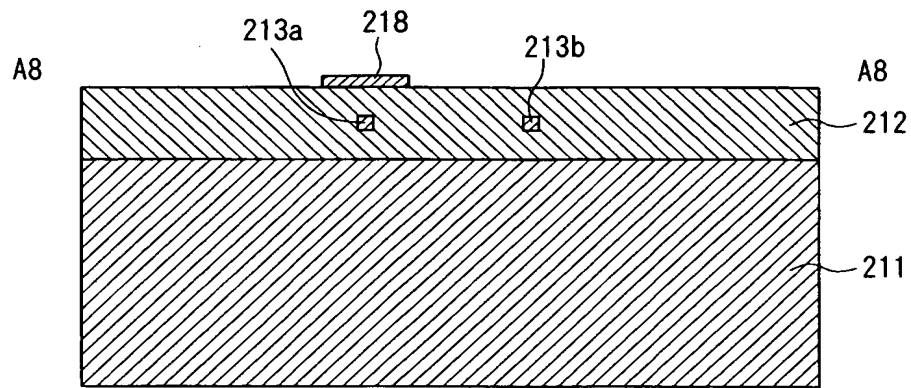
【図 18】



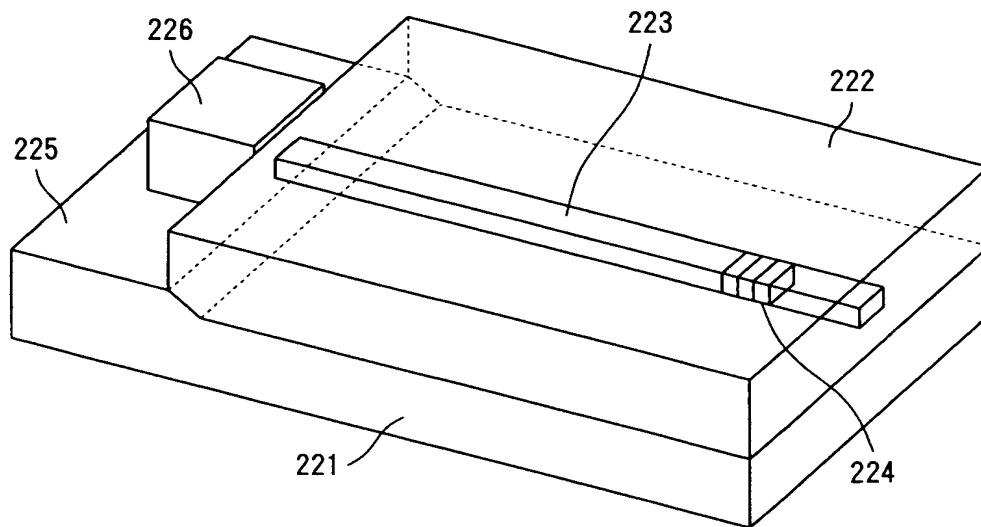
【図 19】



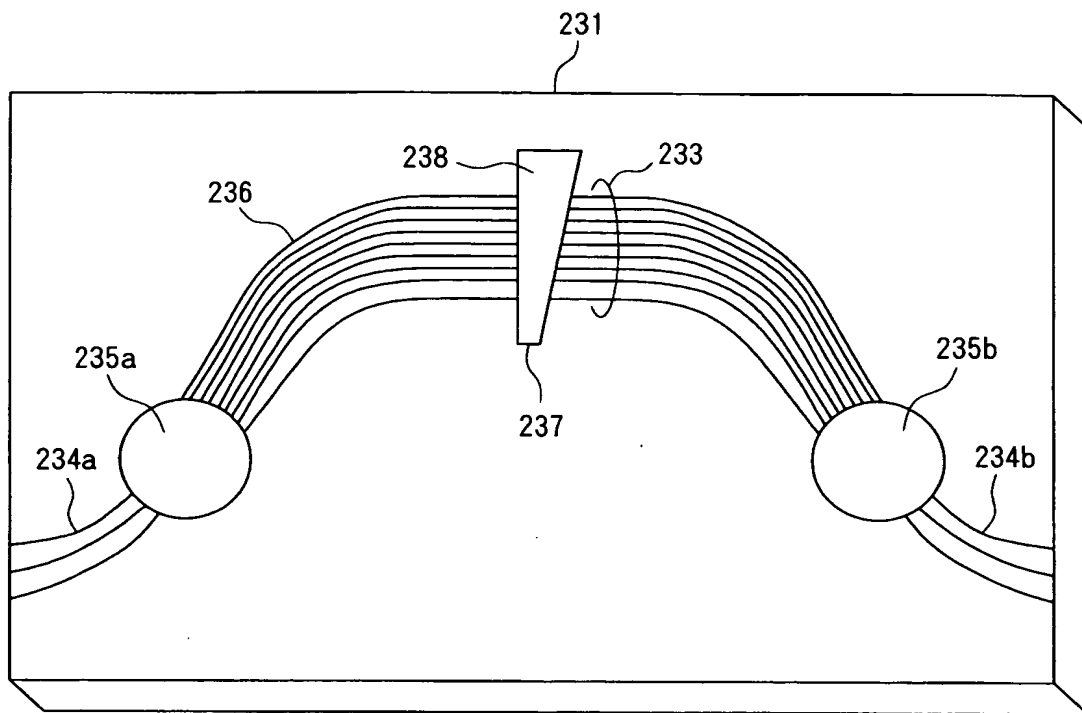
【図 20】



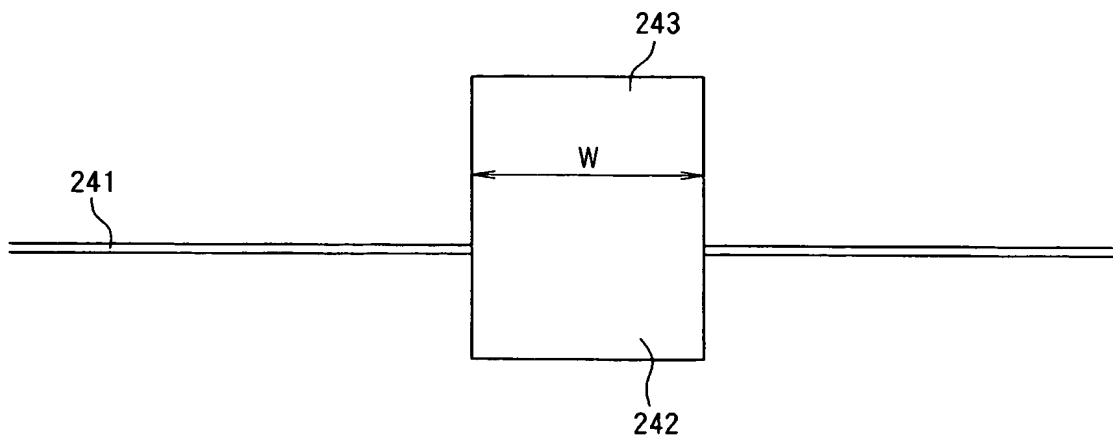
【図 21】



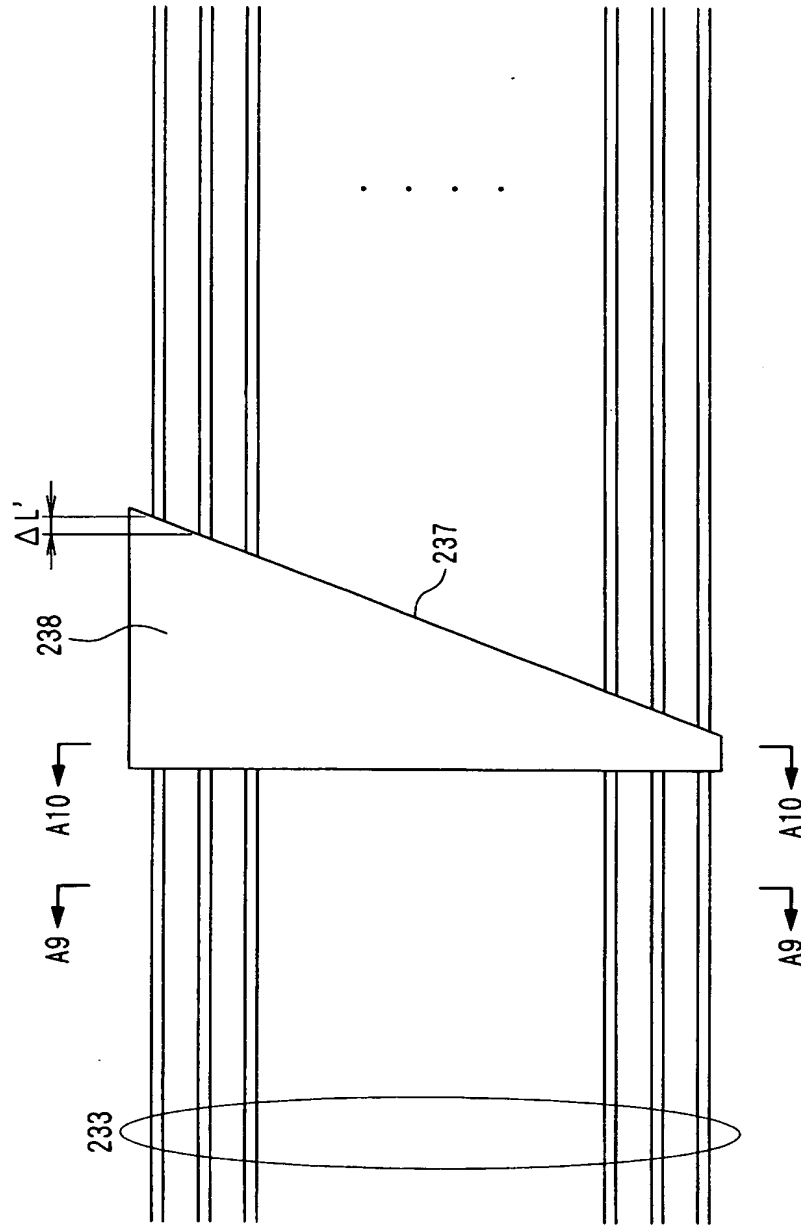
【図 2 2】



【図 2 3】

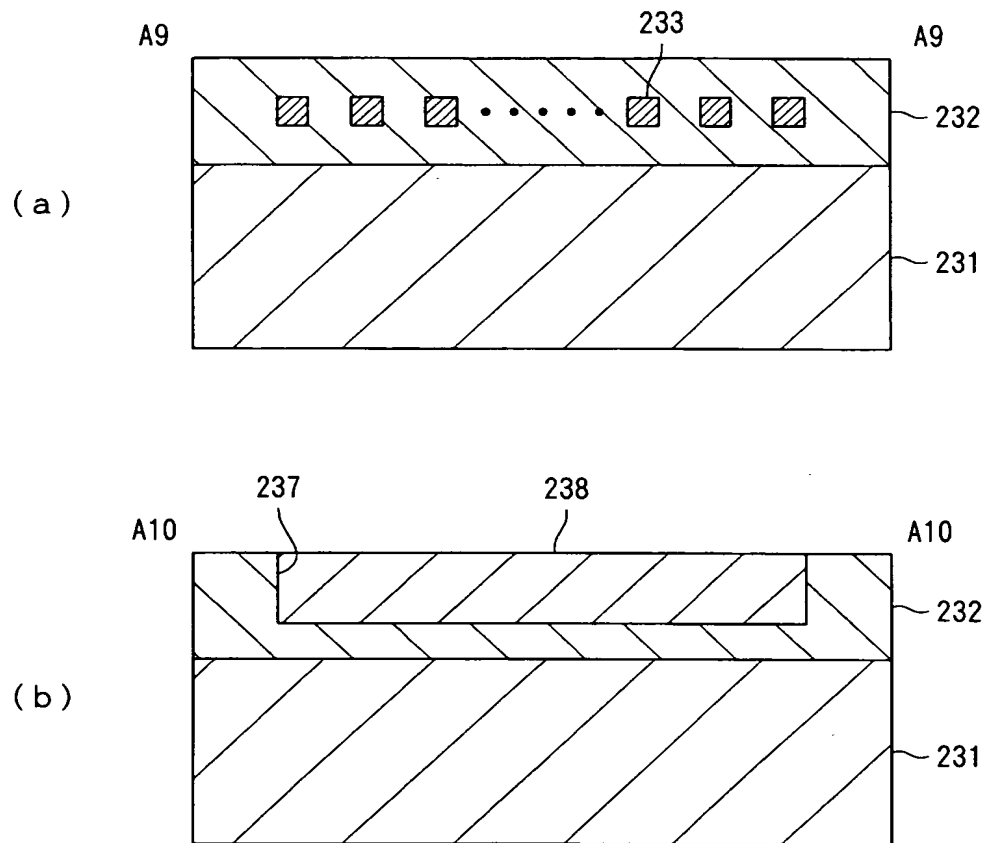


【図 24】

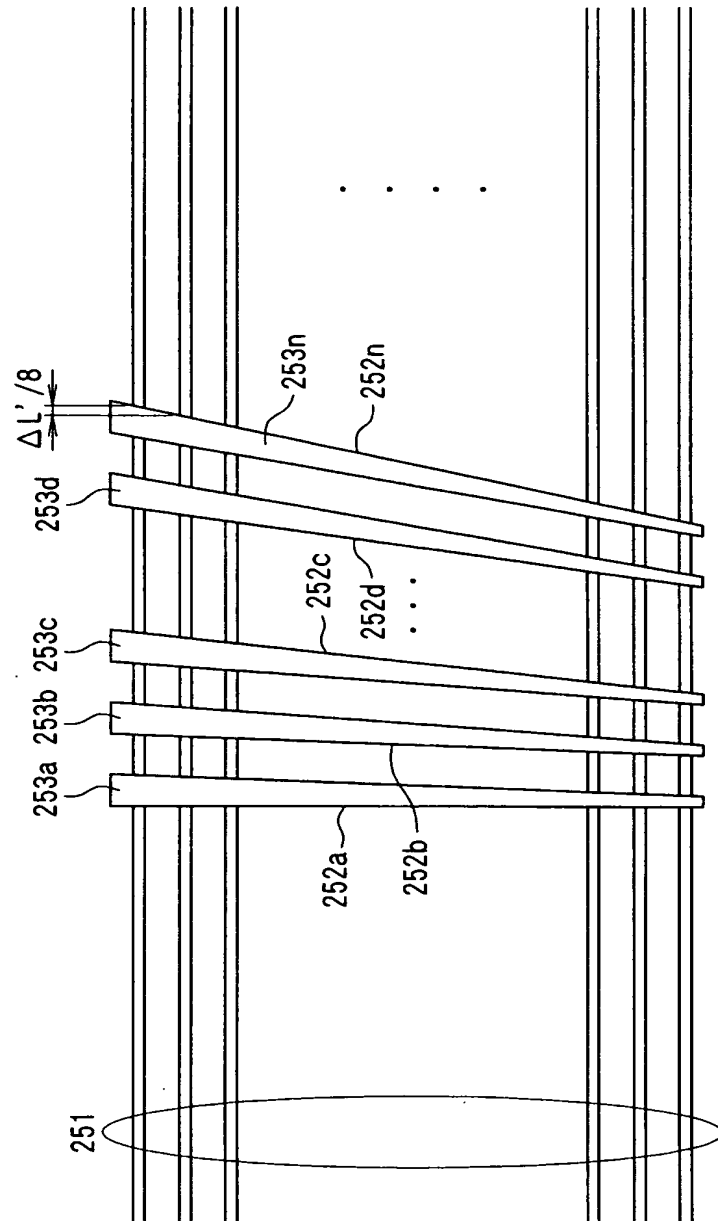




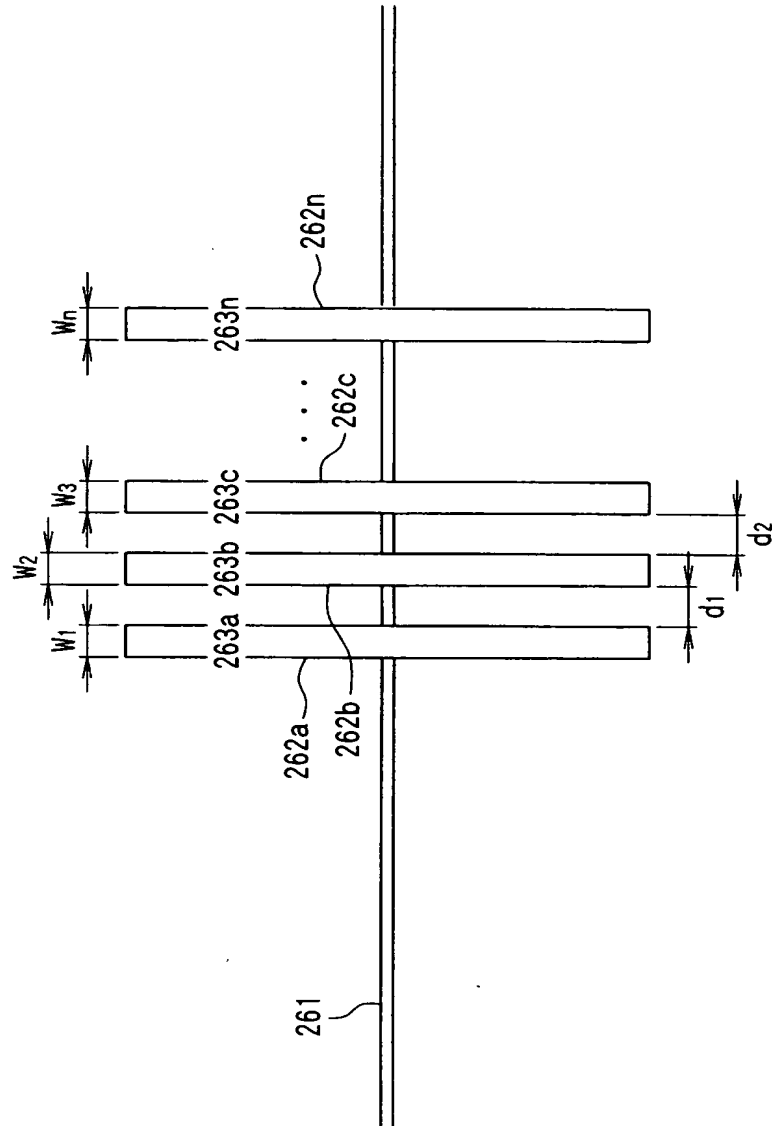
【図 25】



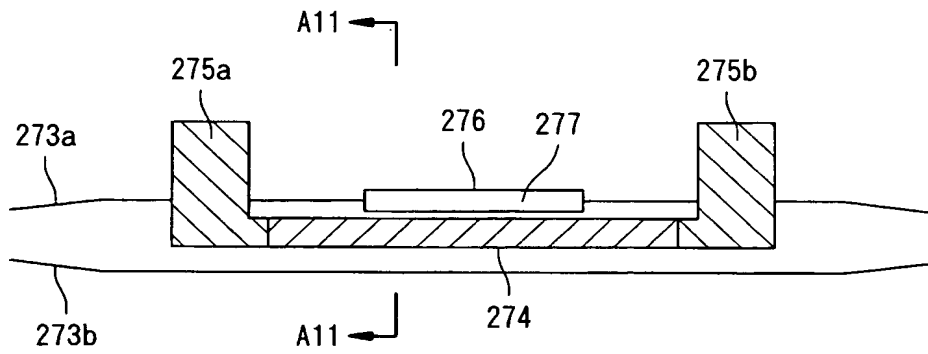
【図 26】



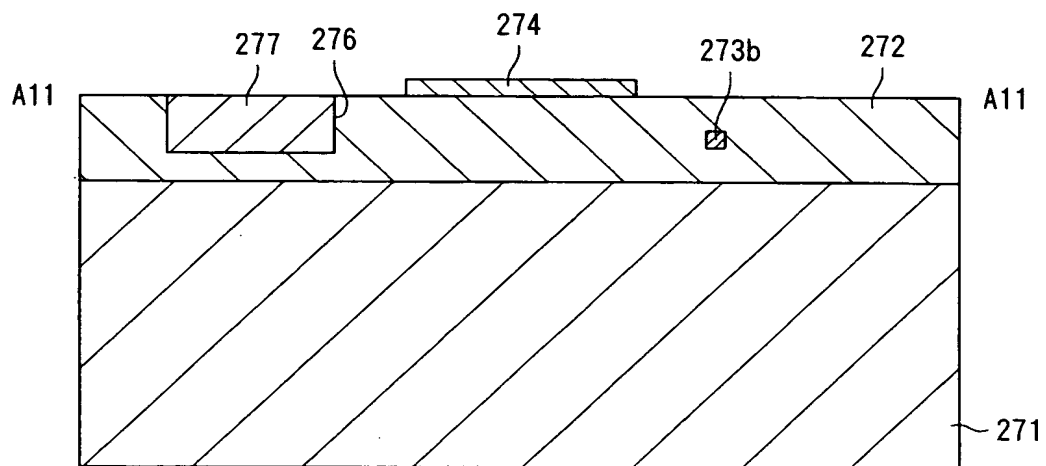
【図 27】



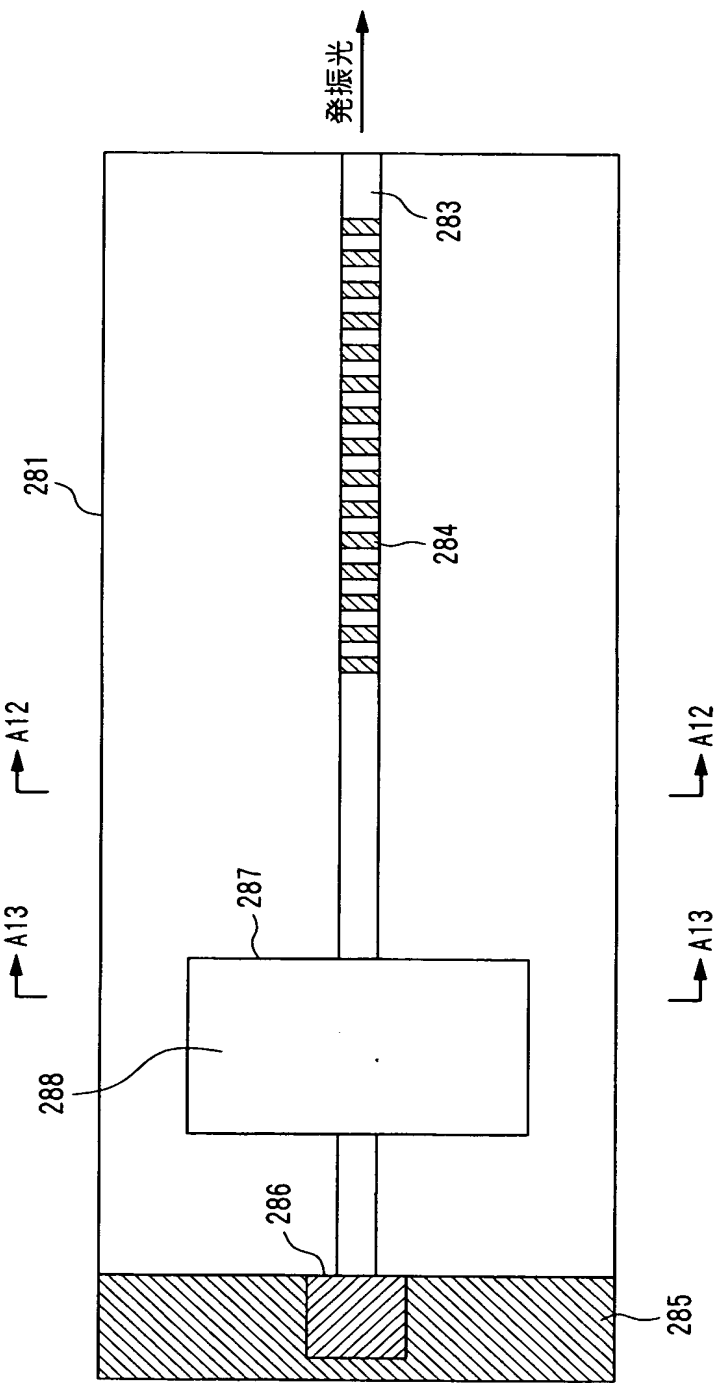
【図 28】



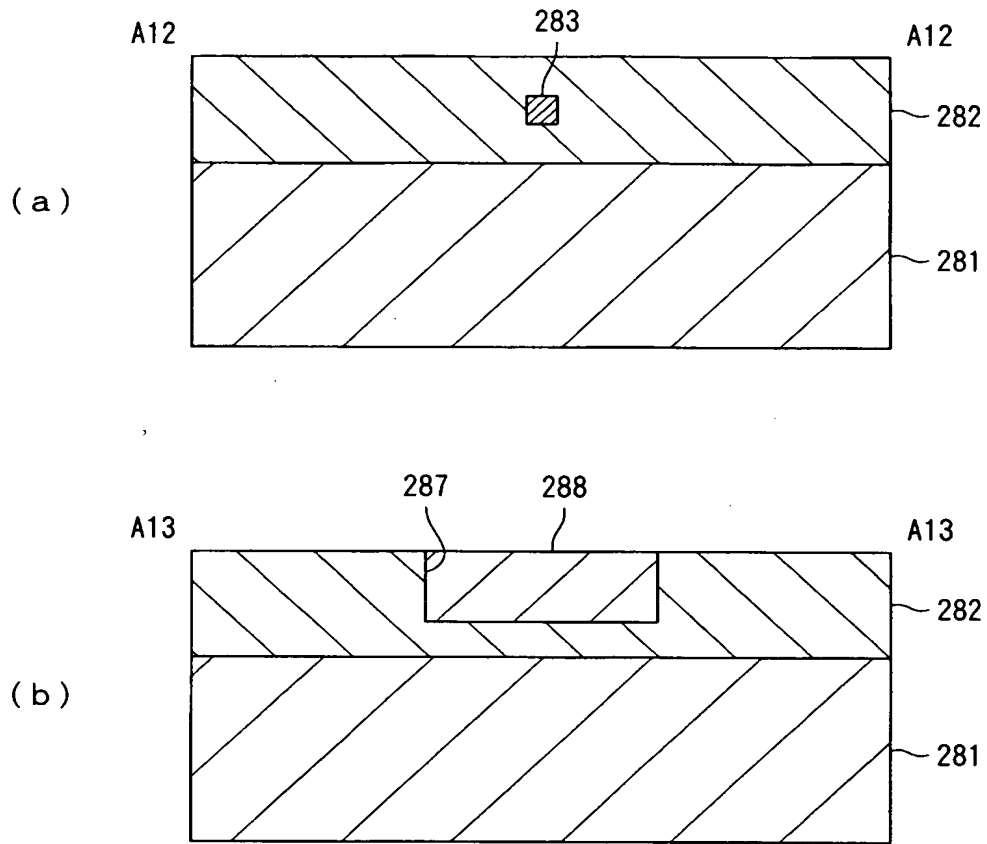
【図 29】



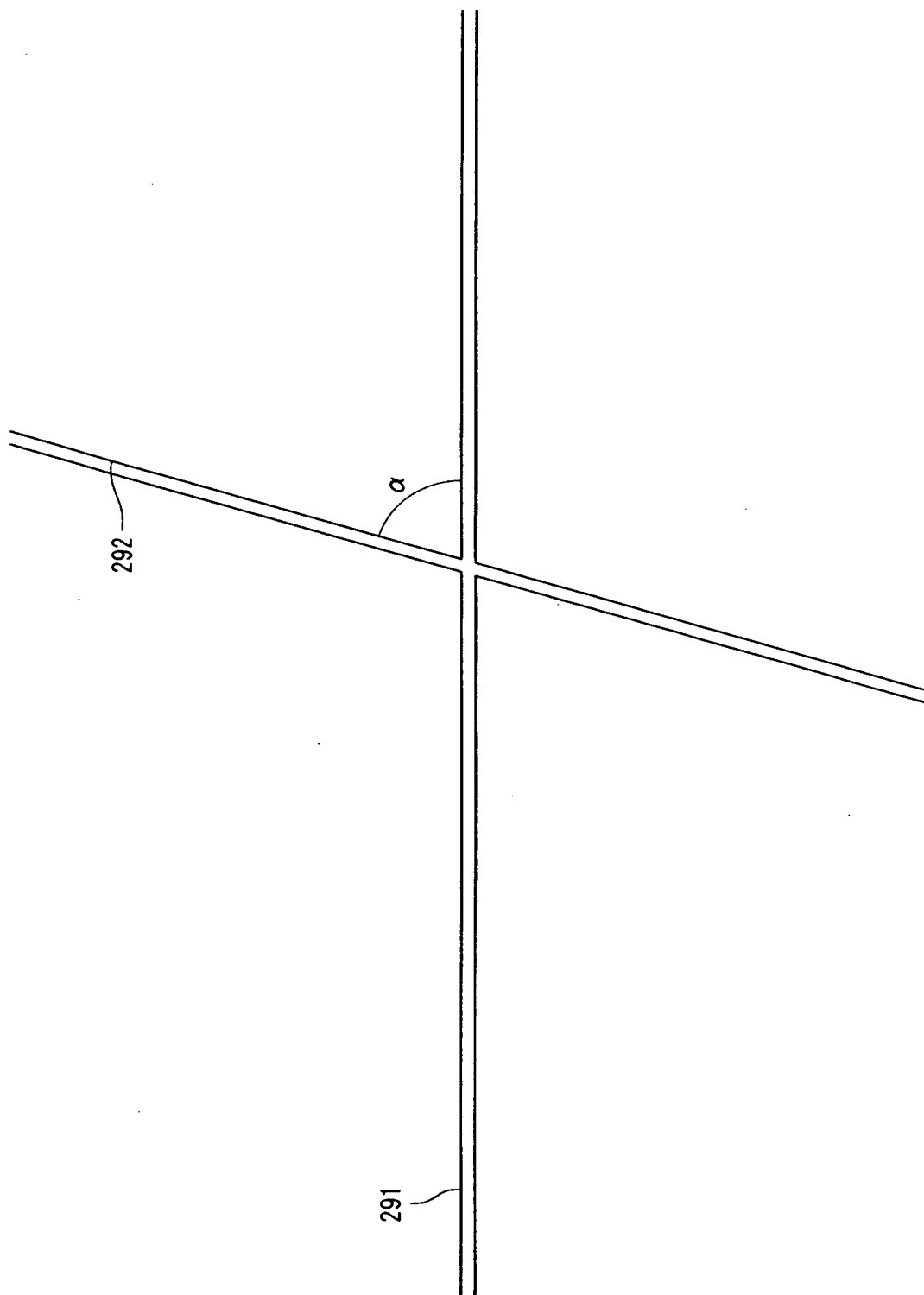
【図 30】



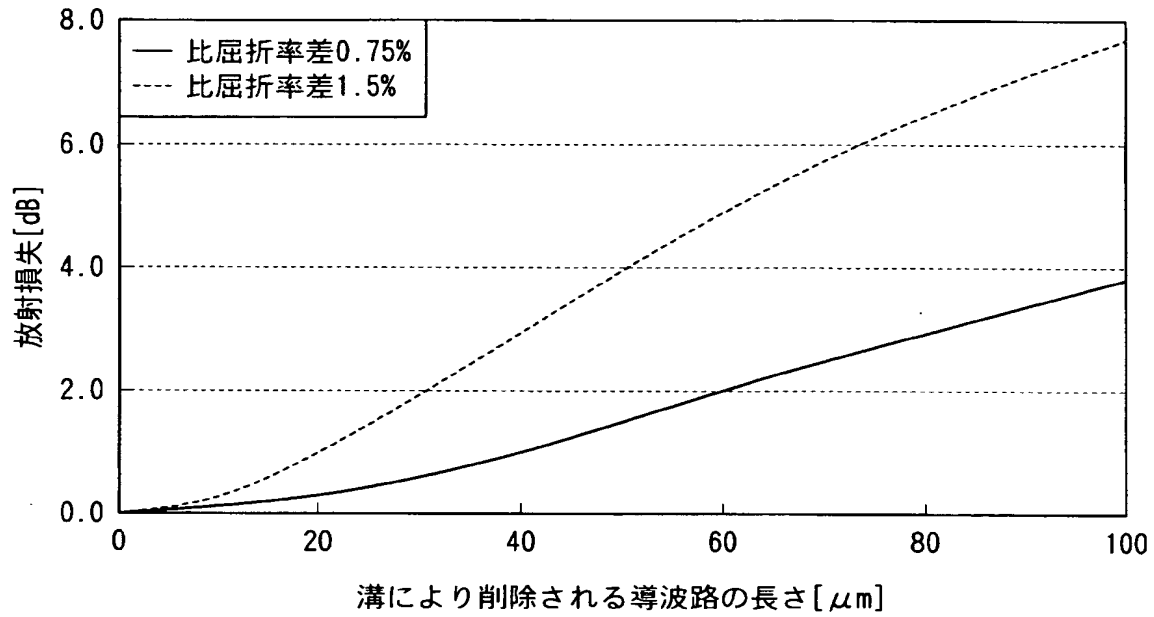
【図 31】



【図 32】



【図 33】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 損失要素が設けられた光導波路の放射損失を低減する。

【解決手段】 溝 4 が形成され、温度補償材料を溝 4 に充填した光導波路 3 において、溝 4 の前段に導波路間隙 6 を設ける。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 3 5 2 5 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 2 2 6 ]

1. 変更年月日	1 9 9 9 年 7 月 1 5 日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号
氏 名	日本電信電話株式会社